



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

Katedra strojů průmyslové dopravy

Obor

Konstrukce strojů a zařízení

Zaměření

PÍSTOVÉ SPALOVACÍ MOTORY

VIZUALIZACE VNITŘNÍCH ČÁSTÍ VÝFUKOVÉHO SYSTÉMU MOTORU

Visualization of the inside parts of the engine exhausts system

KSD – DP – 502

Jiří Mertlík

Vedoucí diplomové práce: prof. Ing. Stanislav Beroun, CSc.

Konzultant diplomové práce: Ing. Josef Blažek

Ing. Pavel Brabec

Rozsah práce:

Počet stran: **54**

Počet obrázků: **39**

Počet příloh:

Počet výkresů: **15**

Leden 2006





Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo) a § 35 (o nevýdělečném užití díla k vnitřní potřebě školy).

Beru na vědomí, že TU v Liberci má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé práce a prohlašuji, že souhlasím s případným užitím mé práce (prodej, zapůjčení, apod.).

Jsem si vědom toho, že užít své diplomové práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TU v Liberci, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

V Liberci 15. prosince 2005

Jiří MERTLÍK



Místopřísežné prohlášení

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a rad konzultanta pod vedením vedoucího diplomové práce.

V Liberci 15. prosince 2005

Jiří MERTLÍK



Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce prof. Ing. Stanislavu Berounovi, CSc., za poskytnuté informace a trpělivé vedení. Další poděkování patří Ing. Josefu Blažkovi a Ing. Pavlu Brabcovi za rady a čas, který mi věnovali.

Především bych rád poděkoval svým rodičům, za umožnění studia na vysoké škole a těm, kteří mi pomohli při zpracování mé diplomové práce.



Označení DP: KSD – DP – 502

Řešitel: Jiří MERTLÍK

Vizualizace vnitřních částí výfukového systému motoru

ANOTACE

Tématem diplomové práce je studie vizualizace vnitřních částí výfukového systému motoru pomocí endoskopu, který je umístěn v chlazeném držáku, který se skládá z kovové části a ze safírové koncovky. Endoskopem se pozoruje tepelné zatížení katalyzátoru. V obecné části diplomové práce je uvedeno použití jednotlivých endoskopů včetně jejich parametrů. V další části je uveden návrh nového držáku a jeho tepelné zatížení. Na tomto držáku umístěném na katalyzátoru motoru Škoda 1.4 MPI byly experimentálně ověřeny teploty. Podle těchto teplot byl navrhnut zcela nový držák.

ANOTTATION

Visualization of the inside parts of the engine exhausts system

The theme of the thesis is study of visualization of the engine exhausts system inside parts by the help of endoscope that is of set in frozen holder which piles from metal parts and sapphire desinence. Endoscope regards heat load calorifier. In common parts of the thesis is mentioned using single endoscopes inclusive their parameters. In next parts is state proposal new holder and his heat load. Upon this holder placed on calorifier motor damage 1.4 MPI, were experimentally tested temperatures. According to these temperatures was suggested unprecedented holder.

Klíčová slova: VIZUALIZACE, SAFÍR, KATALYZÁTOR, ENDOSKOP



Obsah

OBSAH	7
1. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ.....	9
2. ÚVOD.....	10
3. OBECNÝ ROZBOR PROBLEMATIKY POUŽITELNOSTI VIZUALIZAČNÍCH SYSTÉMŮ PRO VYŠETŘOVÁNÍ RŮZNÝCH ČÁSTÍ SPALOVACÍCH MOTORŮ	12
3.1 MĚŘENÍ S ENDOSKOPEM	13
4. TECHNICKÁ DATA JEDNOTLIVÝCH ENDOSKOPŮ.....	14
4.1 ENDOSKOP M10.....	14
4.2 ENDOSKOP M14.....	14
4.3 NECHLAZENÉ ENDOSKOPY S OPTICKÝMI VLÁKNY.....	15
5. VLASTNOSTI POUŽITÝCH MATERIÁLŮ KONCOVEK	18
5.1 VLASTNOSTI A POUŽITÍ KONCOVEK VYROBENÝCH ZE SAFÍRU	18
5.2 VLASTNOSTI KŘEMENNÉHO SKLA	19
6. NÁVRH DRŽÁKU ENDOSKOPU PRO OVĚŘENÍ MOŽNOSTÍ CHLAZENÍ SAFÍROVÉHO POUZDRA (VARIANTA A).....	21
7. TEPELNÉ ZATÍŽENÍ DÍLŮ.....	24
7.1 URČENÍ OKRAJOVÝCH PODMÍNEK	24
7.2 ZOBRAZENÍ VÝSLEDKŮ	28
8. OPTICKÉ VLASTNOSTI.....	32
9. OVĚŘOVACÍ MĚŘENÍ TEPLoty	34
9.1 GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ PRŮBĚHU TEPLoty.....	36
9.2 OVĚŘOVACÍ MĚŘENÍ S MIKROTERMOČLÁNKY	38
10. KONSTRUKČNÍ NÁVRH DRŽÁKU SAFÍROVÉ KONCOVKY (VARIANTA B).....	40
11. TEPELNÝ VÝPOČET	43
11.1 ZADÁNÍ OKRAJOVÝCH PODMÍNEK	43
11.2 ZOBRAZENÍ VÝSLEDKŮ	44
12. TEORETICKÝ VÝPOČET TEPLA.....	46



13. ZÁVĚR	49
15. SEZNAM OBRÁZKŮ	51
16. POUŽITÁ LITERATURA	53
17. INTERNETOVÉ ZDROJE	53
18. SEZNAM VÝKRESŮ	54

1. Seznam použitých zkratek a symbolů

označení	jednotky	název
α_i	$\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$	součinitel přestupu tepla dle Eichelberga
T_s	K	teplota spalin
p_s	MPa	tlak spalin a katalyzátoru
c_s	m.s^{-1}	rychlost spalin v katalyzátoru
α_s	$\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$	součinitel přestupu tepla od sálání
ε	-	součinitel poměrné zářivosti
σ_0	$\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$	Stefan-Boltzmanova konstanta
S_1	m^2	plocha pro zadání okrajových podmínek
S_2	m^2	plocha pro zadání okrajových podmínek
S_3	m^2	plocha pro zadání okrajových podmínek
S_4	m^2	plocha pro zadání okrajových podmínek
$\alpha_{v(p)}$	$\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$	součinitel přestupu tepla pro vzduch
α_{21}	$\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$	přestup tepla od spalin
α_{22}	$\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$	přestup tepla sáláním
T_1	K	teplota chladícího vzduchu
T_2	K	teplota spalin
U_N	V	napětí
α_w	$\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$	součinitel přestupu tepla pro vodu
λ	$\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$	součinitel tepelné vodivosti
δ	m	tloušťka materiálu
α_1	$\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$	součinitel přestupu tepla
α_2	$\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$	součinitel přestupu tepla
t_1	K	teplota povrchu
t_2	K	teplota povrchu
$t_{\text{výf}}$	K	teplota výfukových plynů
t_{in}	K	teplota uvnitř safírové koncovky

2. Úvod

Blížící se vyčerpání fosilních paliv a zhoršující se životní prostředí zvyšují tlak na výrobce automobilů a vedou ke stále se zlepšujícím parametrům motorových vozidel. Hlavně v oblasti spalovacích motorů jde především o snižování emisí. Dále je snaha, aby motor při stále nízké spotřebě paliva měl přiměřeně vysoký výkon a vysokou celkovou účinnost.

Proto se ve výzkumu PSM také začaly používat technologie, které umožní sledování dějů jak ve válci spalovacího motoru tak i v jiných částech motorů. K tomuto sledování se používají endoskopy (tzv. visioscopy), s kterými je možné sledování tvorby palivové směsi, spalování směsi ve válci motoru a jako užitečné se ukazuje potřeba studovat také děje probíhající v katalyzátoru. Vizualizace dějů v katalyzátoru je významná z řady hledisek, důležitý je zejména stav ve vstupní části katalyzátoru. Vizualizací lze zjistit teplotní zatížení vstupní partie katalyzátoru (rozložení teplot po celém vstupním průřezu) od výfukových plynů a to umožní posoudit vhodnost řešení přítoku výfukových plynů do katalyzátoru, průběh zvyšování teploty v katalyzátoru (významné pro účinnost katalyzátoru) a příp. i další děje v katalyzátoru (kupř. odezvu katalyzátoru při náhodném vstupu nespálené směsi a pod.).

Vyráběné endoskopy nedovolují pozorování dějů v katalyzátorech při plném zatížení motoru, neboť jsou konstruovány pro použití v prostředí, kde průměrná teplota nepředstavuje riziko pro optickou část visioscopu (zpravidla se připouští max. teplota 700°C - optická část visioscopu je chráněna koncovkou z křemenného skla ve tvaru „skleněné zkumavky“, uvnitř které proudí tlakový chladicí vzduch). Ve válci motoru při vizualizaci hoření dosahují max. teploty hodnot až 2500 K, je to však velmi krátkodobé působení, které je při plnění válce čerstvou náplní vystřídáno teplotami cca 300-350 K. Střední teplota uvnitř ochranné koncovky visioscopu nepřekročí účinkem chladicího vzduchu přípustnou teplotu 150°C. Jiné teplotní poměry jsou ovšem v podmínkách vizualizace dějů v katalyzátoru, kde na ochrannou koncovku visioscopu působí trvale vysoká teplota (až 1000-1200 K).

Křemenné sklo má tzv. transformační teplotu 1150 °C a zřejmě by teplotu v katalyzátoru vydrželo (teplota „měknutí“ skla je o cca 100-150 °C vyšší), střídavý ohřev na vysoké teploty a nutné zavedení vnějšího intenzivního chlazení ochranného pouzdra endoskopu by ale vyvolalo vnitřní teplotní pnutí, kterým by se skleněné ochranné pouzdro mohlo poškodit. Trvale vysoká teplota vně ochranného pouzdra s koncovkou z křemenného skla tedy představuje velké riziko jak pro materiál skleněné koncovky, tak pro optickou část endoskopu. Zvýšený prostup tepla skleněnou koncovkou z katalyzátoru povede k výraznému zvýšení vnitřní povrchové teploty skleněné koncovky uvnitř pouzdra a vedle vysokého přestupu tepla dovnitř pouzdra se velmi silně začne projevovat i sálavý účinek směrem k optické části endoskopu. Účinek vnitřního chlazení optické části endoskopu bude při těchto podmínkách nedostatečný a poškození optiky endoskopu by bylo velmi pravděpodobné.

Proto se tato diplomová práce zabývá úpravami držáku endoskopu včetně nových koncovek, výpočtem se určuje tepelné zatížení koncovky visioscopu v programu ProMechanica a experimentálně se ověřují teploty uvnitř upraveného držáku endoskopu namontovaného na vstupní část katalyzátoru motoru Škoda 1.4 MPI.

3. Obecný rozbor problematiky použitelnosti vizualizačních systémů pro vyšetřování různých částí spalovacích motorů

K vyšetřování dějů probíhajících ve spalovacím motoru je dnes možno použít například Visioskop od firmy AVL.

Visioskop AVL je plně digitální určený hlavně pro výzkum motorů a jeho příslušenství. Je používán pro sledování periodických i neperiodických dějů a je založený na přenosu obrazu z optické části endoskopu do digitální kamery, ze které jsou data přenášena do záznamové paměti řídicího počítače Visioscopu.

Při vizualizaci periodicky se opakujících dějů v PSM je synchronizace s motorem docílena přes úhlové kódovací zařízení (inkrementální čidlo) s krokem 0,1 nebo 0,05° pomocí klikového hřídele.

Technologie vizualizace umožňuje optický přístup k většině částí sériově vyráběného motoru a to bez zásahu do spalovacího prostoru.

Visioskopem firmy AVL je možné sledovat následující části motoru:

- hlavu válců
- ventilové pružiny
- ventilové rozvody
- rozvodové převody
- písty
- škrtkící klapku

Dále je možné pozorovat tvorbu palivové směsi a její hoření.

- nepřímé jednobodové vstřikování paliva (MPI) u zážehových motorů
- nepřímé vícebodové vstřikování paliva u zážehových motorů
- přímé vstřikování paliva do válce u vznětových a zážehových motorů
- nepřímé vstřikování paliva u vznětových motorů
- tvorba jiskry u zapalovacích svíček

Toto zařízení také umožňuje pozorování dějů na motoru bez použití endoskopu. Jestliže objekt na motoru je snadno viditelný kamerou jako například rozvodový řemen.

3.1 Měření s endoskopem

Použití daného endoskopu závisí na podmínkách měření. Jestliže měříme vnitřní části motoru, kde teplota nepřesáhne 150°C a okolní tlak 500 kPa, můžeme použít endoskop bez integrovaného chlazení.

V opačném případě kdy dochází k překročení kritických hodnot teploty a tlaku se musí použít endoskop chlazený vzduchem, kde tlak vzduchu nesmí překročit hodnotu 600 kPa.

Tyto endoskopy nemají integrované optické vlákno a proto se musí dodatečně osvětlovat žáruvzdorným optickým vláknem.

Chlazené endoskopy smí být používány pouze s ochrannými pouzdry, která jsou vyrobená z křemenného skla. Chlazené endoskopy se používají hlavně pro pozorování dějů probíhajících přímo ve spalovacím prostoru.

4. Technická data jednotlivých endoskopů

4.1 Endoskop M10 (obr. 1)

Tab.1

Úhel pozorování:	0° pro p římý pohled
	30°pro čelní pohled
	70°pro šikmý pohled
Zorné pole:	80°
Délka endoskopu:	330 mm
Průměr endoskopu:	4 mm
Chladicí medium:	čistý stlačený vzduch (600 kPa)
Provozní teplota nechlazeného endoskopu:	150 °C

4.2 Endoskop M14 (obr. 2)

Tab.2

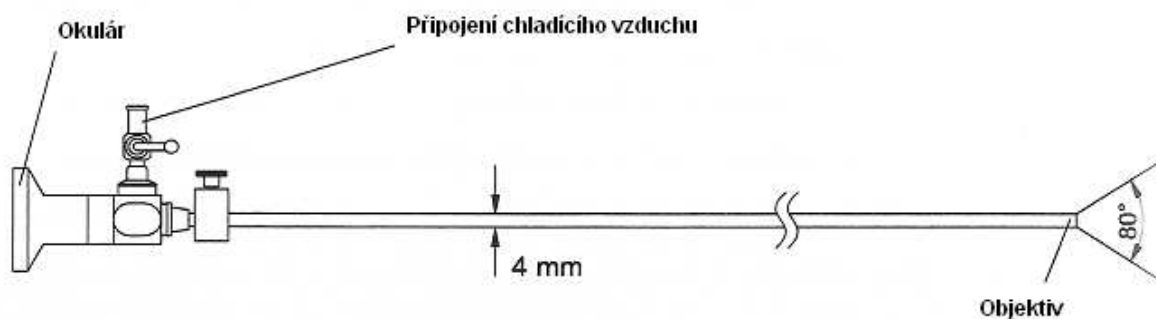
Úhel pozorování:	0° pro p římý pohled
	30°pro čelní pohled
	70°pro šikmý pohled
Zorné pole:	67°
Délka endoskopu:	330 mm
Průměr endoskopu:	7 mm
Chladicí medium:	čistý stlačený vzduch (600 kPa)
Provozní teplota nechlazeného endoskopu:	150 °C

4.3 Nechlazené endoskopy s optickými vlákny (obr. 3)

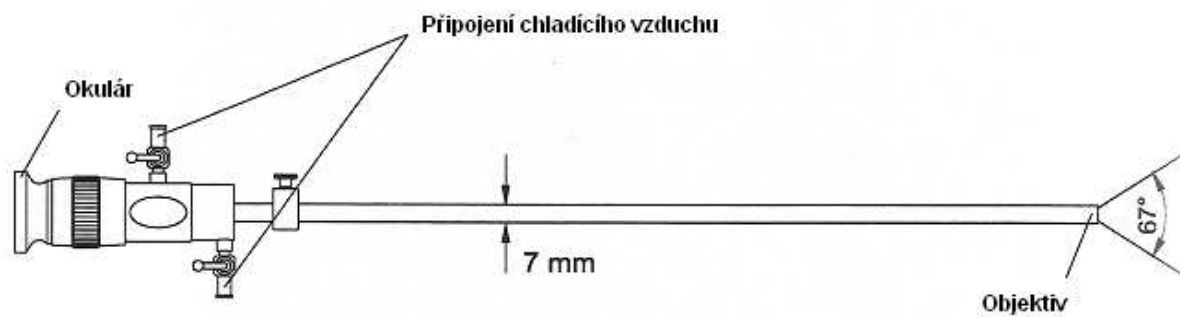
Tab. 3

Úhel pozorování:	0° pro p římý pohled
	30° pro čelní pohled
	70° pro šikmý pohled
Zorné pole:	67°
Délka endoskopu:	330 mm
Maximální tlak v blízkosti čočky objektivu:	250 kPa
Maximální teplota v blízkosti čočky objektivu:	150 °C

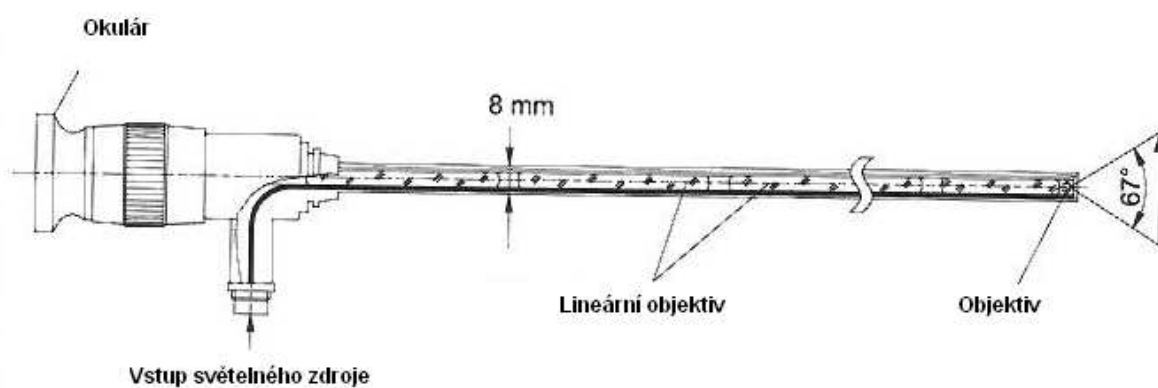
Obr. 1: Chlazený endoskop M10



Obr. 2: Chlazený endoskop M14

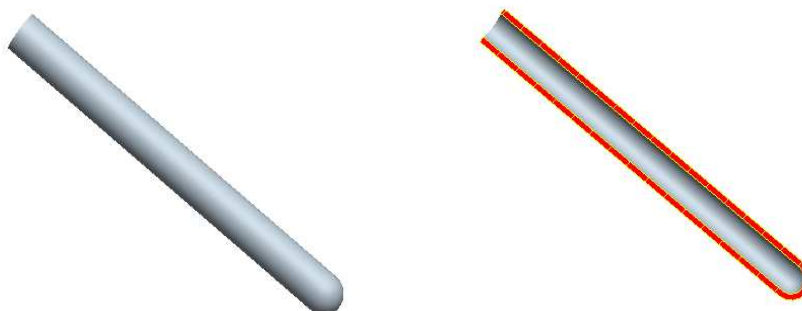


Obr. 3: Endoskop M14 s optickými vlákny



[1]

Cílem této diplomové práce je navrhnout takové řešení, které by umožňovalo pozorování dějů probíhajících ve výfukovém potrubí a přímo v katalyzátoru. Ve výfukovém potrubí motoru je stále teplota přesahující 800 °C. Z tohoto důvodu není možné použít soupravu pro měření, kterou dodává firma AVL. Jako možné řešení tohoto problému je použití koncovek vyrobených ze safíru (obr. 4), které se umístí do nově navrženého chlazeného držáku. Safírová ochranná koncovka vydrží bez problému i extrémně vysoké teploty prostředí. Účinným chlazením se dosáhne požadovaných podmínek pro měření.



Obr. 4: Koncovka vyrobená ze safíru

5. Vlastnosti použitých materiálů koncovek

5.1 Vlastnosti a použití koncovek vyrobených ze safíru

Safír Al_2O_3 tvoří monokrystalickou stavbu. Trubky, destičky a další výrobky se vyrábějí metodou růstu krystalu a následnou rozměrovou a povrchovou úpravou tvaru. Díky svým chemickým a fyzikálním vlastnostem (tepelným, odolností vůči kyselinám a alkáliím) mají široké použití v lékařství a průmyslu.

Výrobky ze safíru mají vysokou tepelnou stálost až do teploty 2000 °C, vysoký provozní tlak až 5 MPa, vysokou tvrdost, dobrou tepelnou vodivost nebo také dobré elektroizolační vlastnosti.

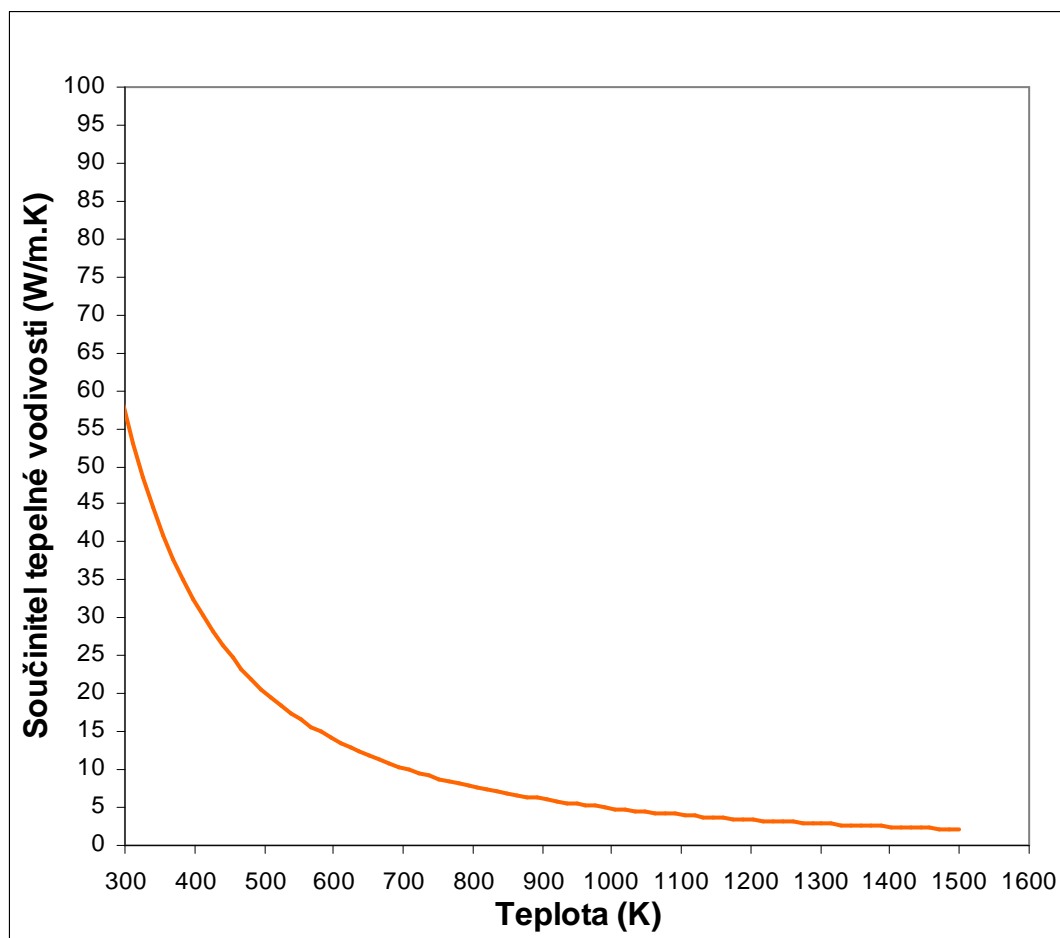
Pro výpočet tepelného zatížení dílů jsem použil následující materiálové vlastnosti, které uvádí výrobce safírových koncovek firma CRYTUR Turnov:

Fyzikální vlastnosti:

- Hustota 3,98 g/cm³
- Pevnost v tahu $2,1 \cdot 10^9$ Pa
- Pevnost v tlaku $3,0 \cdot 10^9$ Pa
- Youngův modul pružnosti $4,6 \cdot 10^{11}$ Pa
- Modul pružnosti v ohybu $0,7 \cdot 10^9$ Pa

Tepelné vlastnosti:

- Bod tání 2053 °C
- Tepelná roztažnost $5,3 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ || s osou při teplotě 300 K
 $4,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1} \perp$ k ose při teplotě 300 K
- Tepelná vodivost 10 000 W.m⁻¹.K⁻¹ při teplotě 30 K
(viz obr. 5) 40 W.m⁻¹.K⁻¹ při teplotě 300 K
4 W.m⁻¹.K⁻¹ při teplotě 1500 K
- Měrné teplo 750 J.kg⁻¹.K⁻¹



Obr. 5: Závislost tepelné vodivosti na teplotě pro safír

[2]

5.2 Vlastnosti křemenného skla

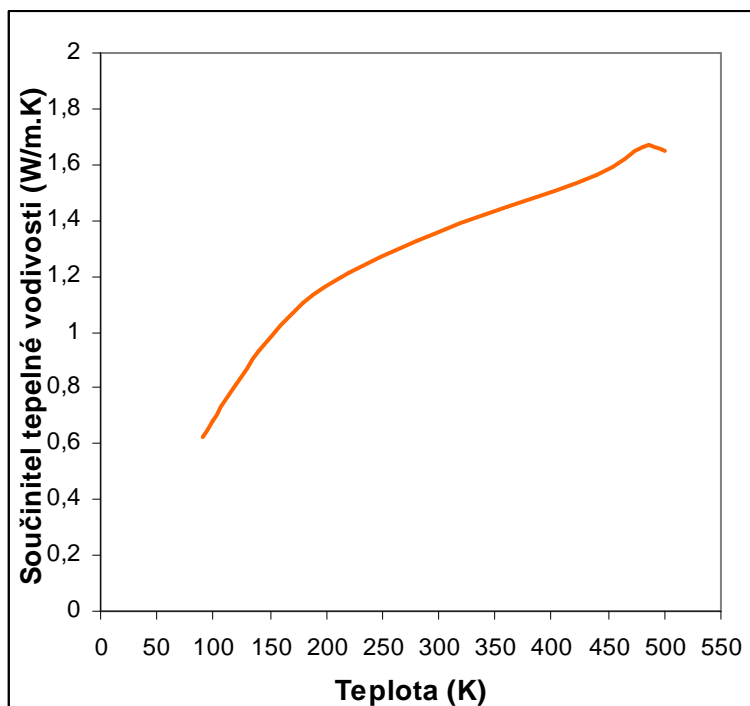
Pro srovnání vlastností safíru a křemenného skla jsou uvedeny mechanické a fyzikální vlastnosti křemenného skla.

Fyzikální vlastnosti:

- Hustota $2,20 \text{ g/cm}^3$
- Youngův modul pružnosti $6,2 \cdot 10^{11} \text{ Pa}$
- Pevnost v ohybu (tl. 2mm) $75 \cdot 10^9 \text{ Pa}$

Tepelné vlastnosti:

- Transformační teplota 1150 °C
- Tepelná roztažnost $0,6 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ při teplotě 20°C – 300°C
- Tepelná vodivost $0,627 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ při teplotě 90 K
(viz obr. 6) $1,214 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ při teplotě 220 K
 $1,650 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ při teplotě 500 K
- Měrné teplo $835 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$



Obr. 6: Závislost tepelné vodivosti na teplotě pro křemenné sklo

[3]

6. Návrh držáku endoskopu pro ověření možností chlazení safírového pouzdra (varianta A)

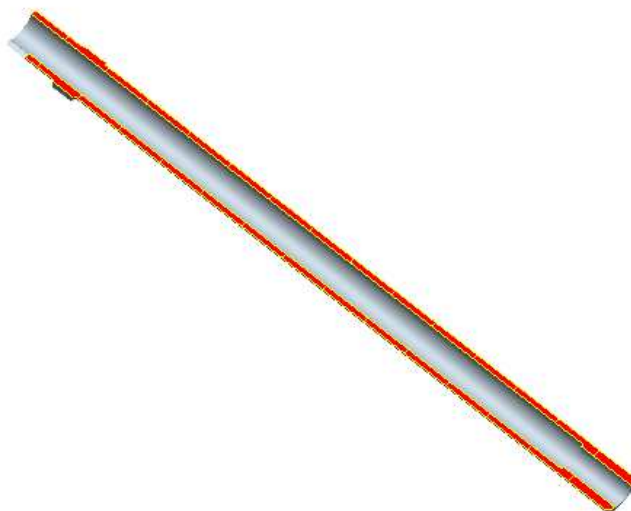
Vzhledem k tomu že původní držák dodávaný firmou AVL (obr. 7) dovoluje chlazení pouze z vnitřní strany skleněného popřípadě safírového skla, je třeba tento držák nahradit novým lépe chlazeným.

Vycházel jsem z původního držáku firmy AVL, který jsem zkrátil a přidal další dvě části. Část 1 (obr. 8) je umístěna přímo na povrch katalyzátoru, kde bude přivařena a část 2 (obr. 9) je vložena do části 1. Jak v části 1 tak i v části 2 jsou vývrty, kterými bude proudit chladicí medium, v tomto případě vzduch. Přívod chladicího media je označen x a odvod chladicího media y dle obr. 8. Tato sestava umožní chlazení pouzdra z obou stran, čímž by se mělo docílit menší teploty uvnitř tohoto pouzdra. V této části jsem se zabýval návrhem držáku a v další části potom tepelným výpočtem v softwaru ProMechanica, který navazuje na program ProEngineer, ve kterém jsem vytvořil výpočtový model a výkresovou dokumentaci celé sestavy (viz příloha).

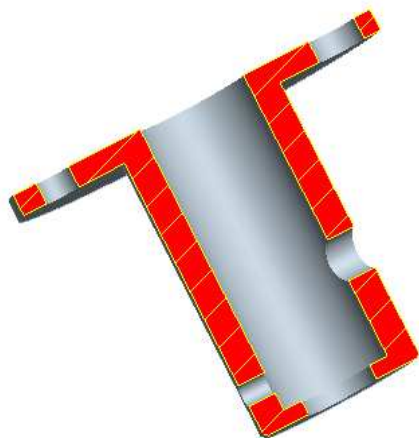
Safírová koncovka je vložena do pouzdra, které je také vyrobeno ze žáruvzdorné ocele. Tyto dvě části jsou spojeny lepidlem schopným odolávat vysokým teplotám. Jedná se o lepidlo vyráběné firmou OMEGA ENGINEERING, inc., s označením OMEGABOND[®] “300“, které je na bázi cementu.

Všechny tyto díly jsou smontovány (viz obr. 11) a přichyceny pomocí 3 šroubů k části 2 (obr. 9), která je přivařena na tvarově přizpůsobenou trubku, která je také přivařena k plášti katalyzátoru (obr. 12).

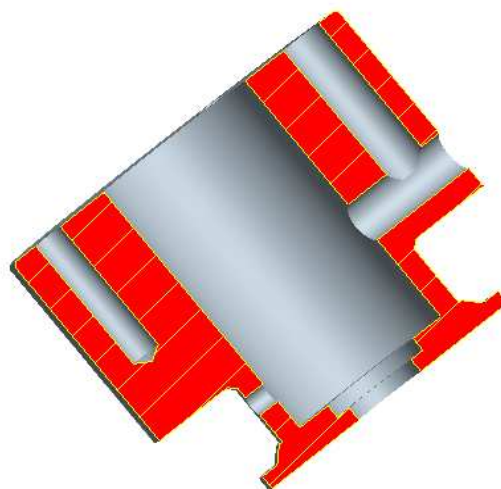
Jednotlivé díly dle obr. 7, 8, 9 jsou vyrobeny ze žáruvzdorné ocele ČSN 17 115, která by měla odolávat vysokým teplotám.



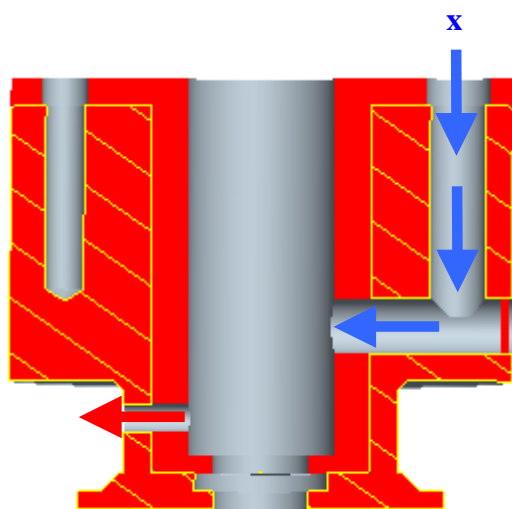
Obr. 7: Původní držák firmy AVL



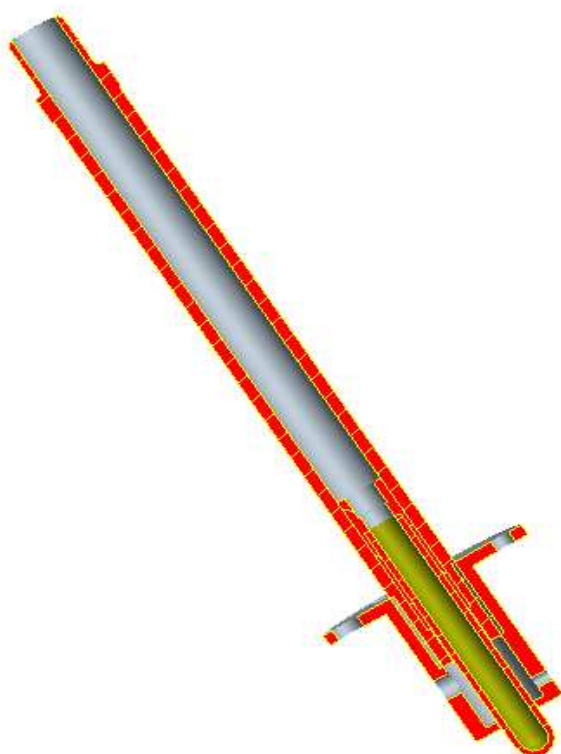
Obr. 8: Část 1



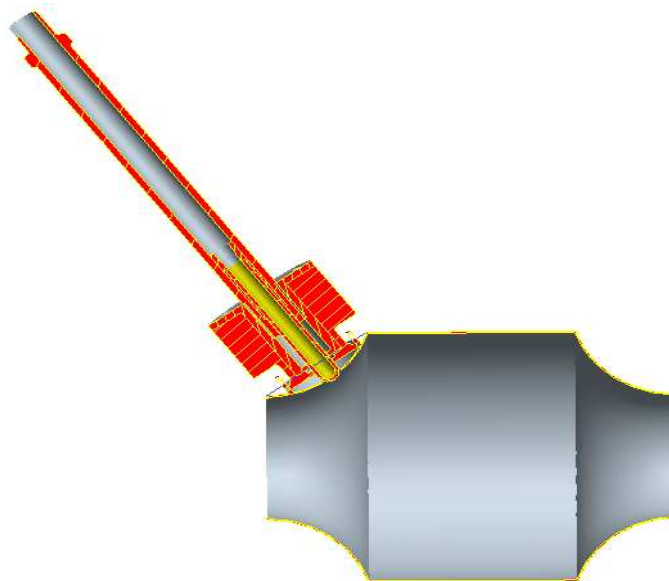
Obr. 9: Část 2



Obr. 10: Proudění chladícího media



Obr. 11: Sestava původního držáku AVL a části 1 včetně safírového koncovky



Obr. 12: Zástavba držáku do katalyzátoru motoru škoda 1.4 MPI

7. Tepelné zatížení dílů

Pro výpočet tepelného zatížení jsem použil program Proengineer a jeho nadstavbový program ProMechanika. Pro tento program je potřeba vytvořit jednoduchý výpočtový model, který reprezentuje oblast kolem safírové koncovky. Tento model vychází ze zástavby držáku endoskopu, který bude umístěn do katalyzátoru u motoru škoda 1.4 MPI (obr. 12). Jednotlivé díly tohoto modelu byly již zobrazeny v předcházející kapitole (viz. obr. 4, 5, 6 a 7).

7.1 Určení okrajových podmínek

Pro správný výpočet tepelného pole v programu ProMechanika je důležité navolit správné okrajové podmínky, které reprezentují dané podmínky. Volba okrajových podmínek není jednoduchá, protože každá změna spustí znovu

zdlouhavý výpočet. Proto je použit velmi zjednodušený model, u kterého se neuvažuje přestup tepla z pláště katalyzátoru, který by celý výpočet dále časově prodloužil a pro řešení úkol by zůstaly výsledky téměř nezměněny.

Aby nedošlo k potížím během zadávání a výpočtu je nejprve celý model převeden na základní jednotky [m, kg, K].

Dále bylo potřebné určit součinitel přestupu tepla. Ten se skládal ze dvou součinitelů a to součinitele přestupu tepla proudících spalin a součinitele od sálání vnitřní části katalyzátoru.

Součinitel přestupu tepla ze spalin do stěny se určil pomocí vztahu dle Eichelberga, který se používá pro výpočet přestupu tepla do jednotlivých částí motoru.

$$\alpha_i = 2,435 \cdot \sqrt[3]{c_s} \cdot \sqrt{10 \cdot p_s \cdot T_s} \quad (\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}) \quad (1)$$

T_s teplota spalin v katalyzátoru (K)

p_s tlak spalin v katalyzátoru (MPa)

c_s rychlost proudění spalin ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

[4]

Teplotu spalin v katalyzátoru T_s jsem určil dle zadání 800°C . Tlak spalin v katalyzátoru jsem zvolil $p_s=120$ kPa, jelikož tlak na vstupu do katalyzátoru je o něco vyšší než atmosférický tlak (100 kPa). Rychlost proudění spalin jsem zvolil $c_s=2$ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Dále bylo nutné určit součinitel přestupu tepla od sálání. Pro tento výpočet byl použit vztah dle skript (Sdílení tepla a výměníky, prof.Ing.Zdeněk Dvořák)

$$\alpha_s = \varepsilon \cdot \sigma_0 \cdot T^4 \quad (2)$$

ε součinitel poměrné zářivosti (-)

σ_0Stefan-Boltzmanova konstanta ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$)

$\sigma_0 = 5,6705 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$

Tteplota povrchu sálající plochy (K) [5]

Součinitel poměrné zářivosti jsem také určil z tabulky firmy Emitec, která uvádí tyto součinitele pro různé materiály katalyzátorů (tab. 4). Pro výpočet jsem použil součinitel poměrné sálavosti $\varepsilon = 0,7$ což je pro daný výpočet nejhorší možná varianta zatížení dílu endoskopu.

Tab. 4 Součinitele poměrné sálavosti pro různé materiály

Materiál katalyzátoru	Součinitel poměrné sálavosti při 700 °C
Hliníkový povrch *	0,15
Austenitický povrch **	0,4
Povrch ZrO ₂ ***	0,65
Feritický povrch **	0,7

- * - nanesený povrch
- ** - sycení 100h při 800 °C
- *** - povrch zhotovený nástřikem

[6]

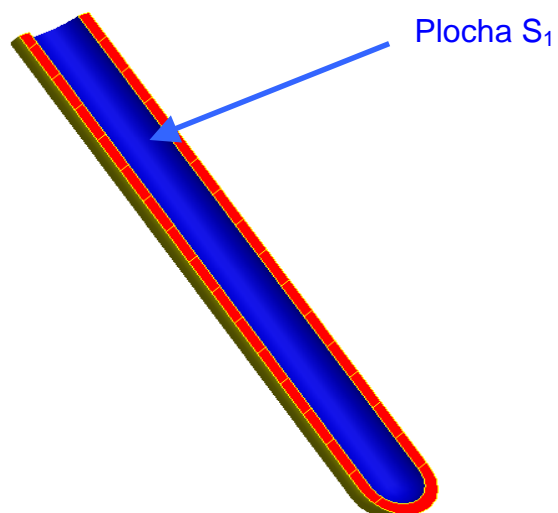
Další krok v zadávání okrajových podmínek je určení ploch, na které se podmínky vztahují. Já jsem zvolil následující plochy (obr. 13 a 14), na které jsem zadal teploty a součinitele přestupu tepla.

Na vnitřní plochu držáku a safírové koncovky a na část vnější plochy safírové koncovky byla zvolena teplota chladícího media $T_1=293,15\text{K}$ (20°C) a součinitel tepelné vodivosti $\alpha_{vp} = 100 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ (plocha S_1 plocha S_2). Dále bylo nutné zadat okrajové podmínky pro plochu, která není chlazená (plocha S_3). Na tuto plochu byla zvolena stejná teplota $T_1=293,15\text{K}$ (20°C) a součinitel přestupu tepla $\alpha_v=20 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$.

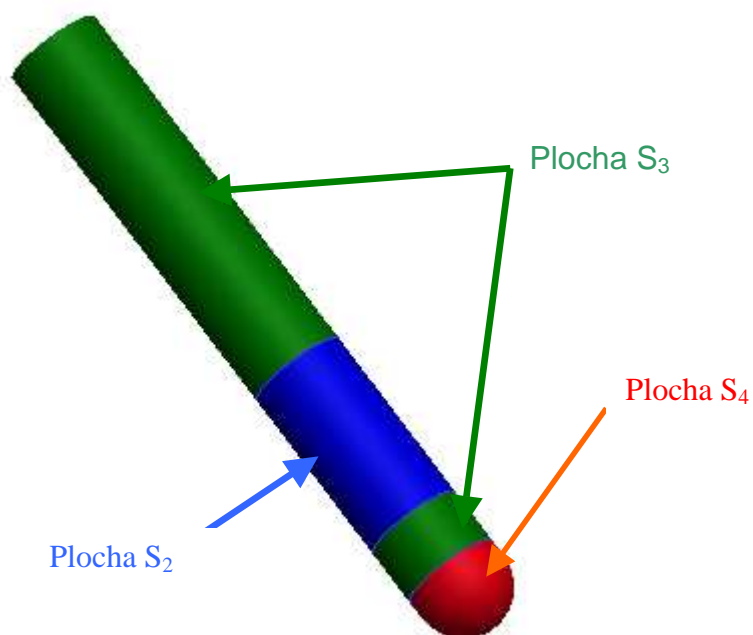
Na konci safírové koncovky (plocha S_4) byla zvolena teplota $T_2 = 1073,15\text{K}$ (800°C) dle zadání a součinitel přestupu tepla $\alpha_2 = \alpha_{21} + \alpha_{22}$, kde součinitel přestupu tepla α_{21} je od přestupu tepla ze spalín a byl určen pomocí vztahu (1) dle Eichelberga. Sálání tělesa katalyzátoru je dáno součinitelem α_{22} , který se určí dle vztahu (2).

$$\alpha_{21} = 100 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$$

$$\alpha_{22} = 42 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$$



Obr. 13: Zadání vnitřních okrajových podmínek

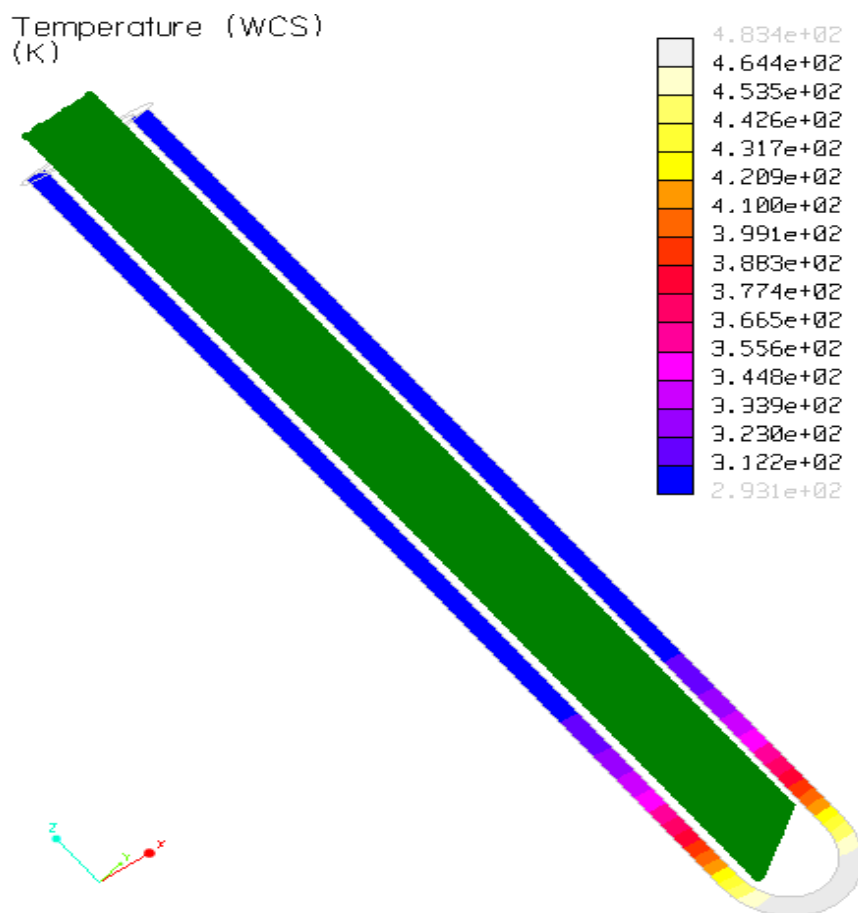


Obr. 14: Zadání vnějších okrajových podmínek

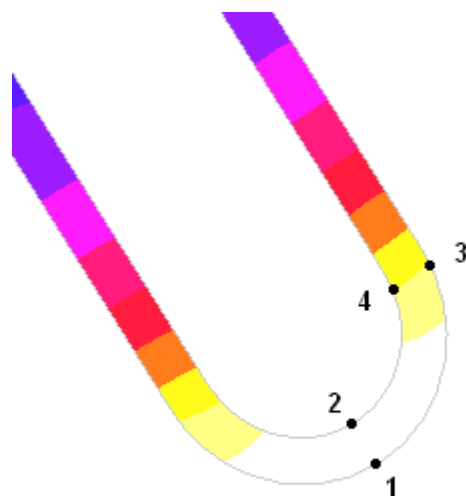
7.2 Zobrazení výsledků

Po zadání okrajových podmínek uvedených v předešlé kapitole se získá rozložení teplotních polí, které je na obr. 15 (prostředí ProMechanika, mod Thermal). Vzhledem k tomu, že barevné rozlišení slouží pouze k zobrazení orientační teploty, použil jsem grafické zobrazení (obr. 17, 18), kde je vidět průběh teplot mezi vybranými body (obr. 16).

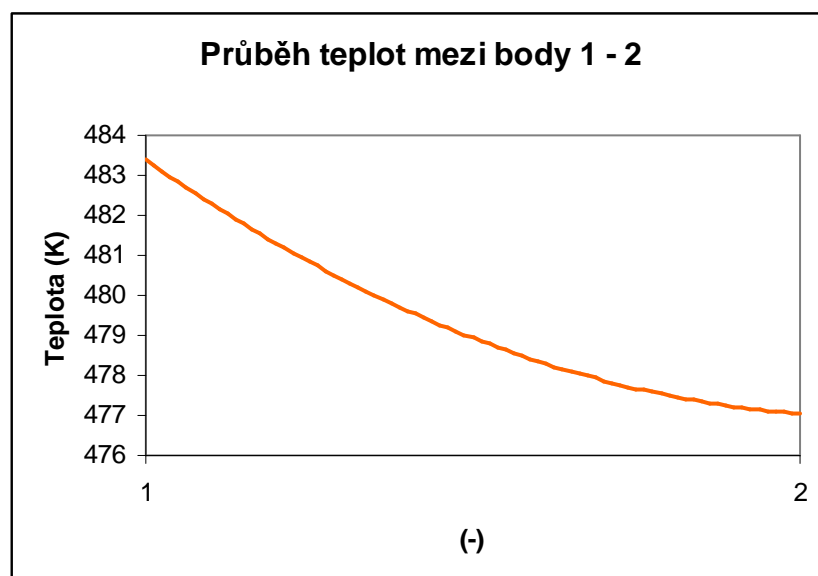
Pro srovnání výsledků z experimentálního měření a teoretického výpočtu bylo nutné zadat takové okrajové podmínky, které nastanou při měření. Vzhledem k tomu, že při měření teplot uvnitř safírové koncovky jí nebude možné ochlazovat zevnitř, sestavil jsem nový model, který se ochlazuje pouze z vnější strany. Výsledky tohoto zjednodušeného výpočtu jsou na obr. 19 a na obr. 20, 21, kde je zobrazený průběh mezi zvolenými body (obr. 16).



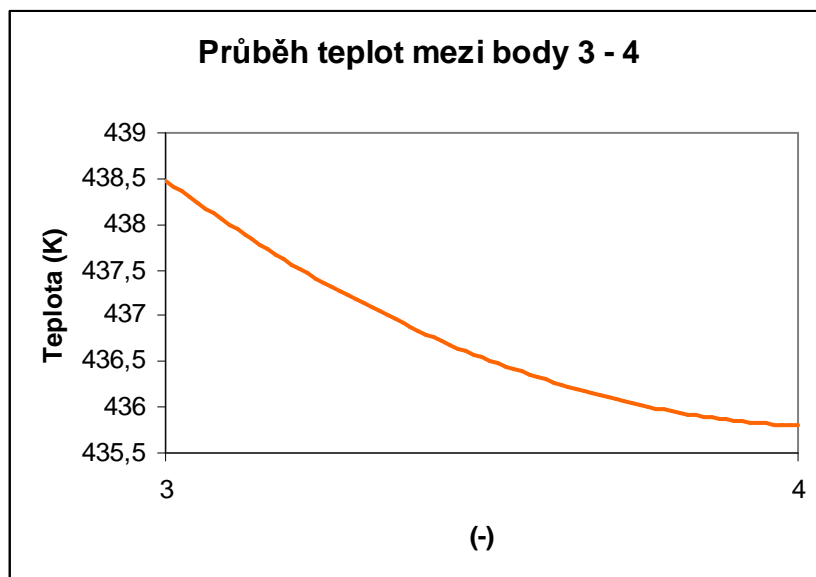
Obr. 15: Teplotní pole na safírové koncovce při chlazení z obou stran



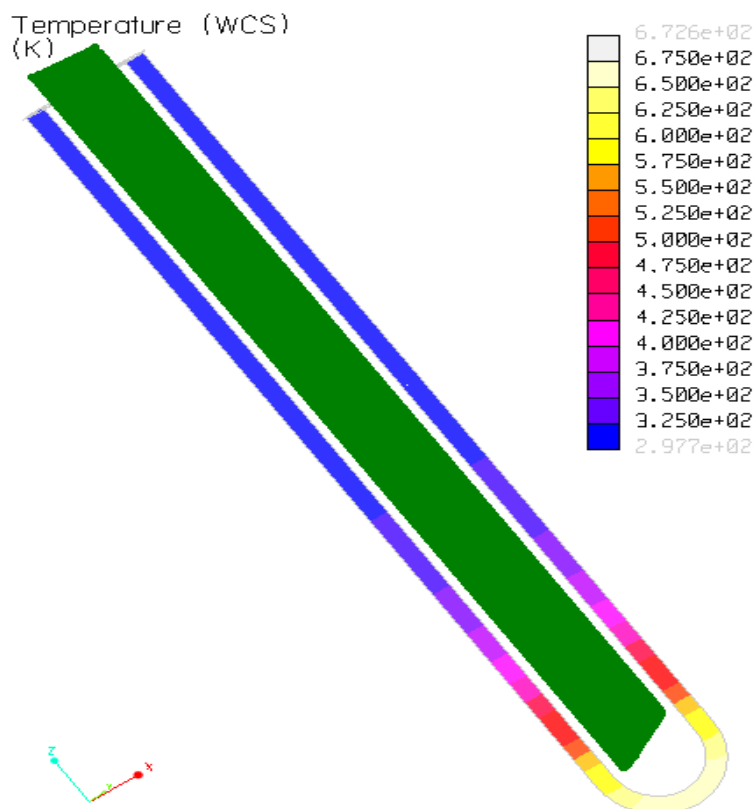
Obr. 16: Zobrazení vybraných bodů



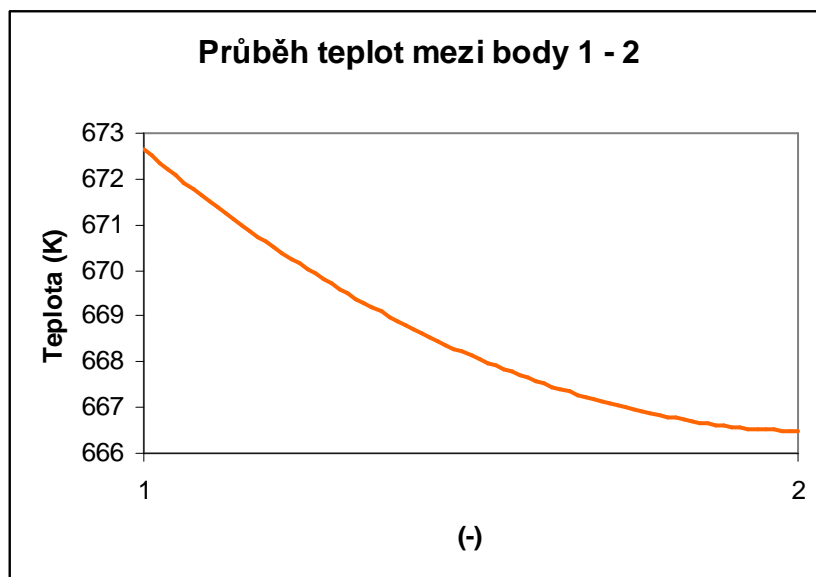
Obr. 17: Průběh teplot na konci safírové koncovky mezi body 1 – 2



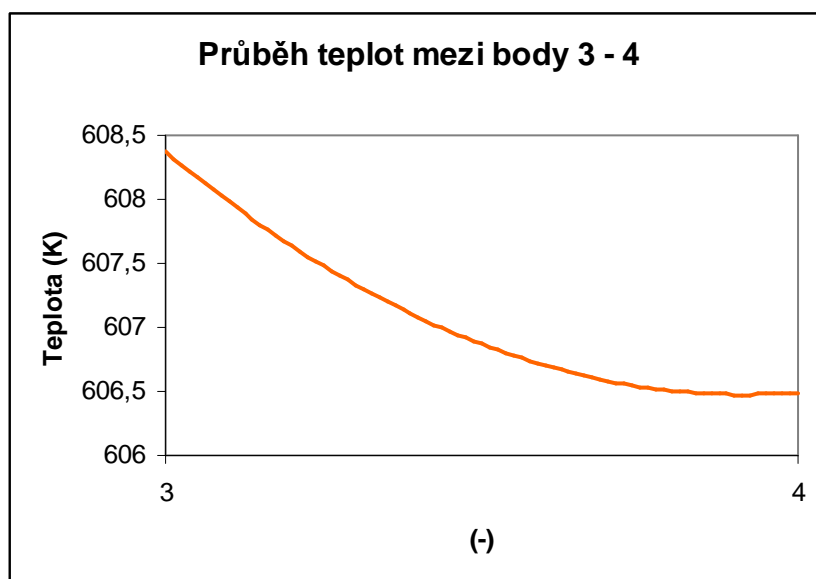
Obr. 18: Průběh teplot na konci safírové koncovky mezi body 3 – 4



Obr. 19: Teplotní pole na safírové koncovce při chlazení pouze z vnější strany



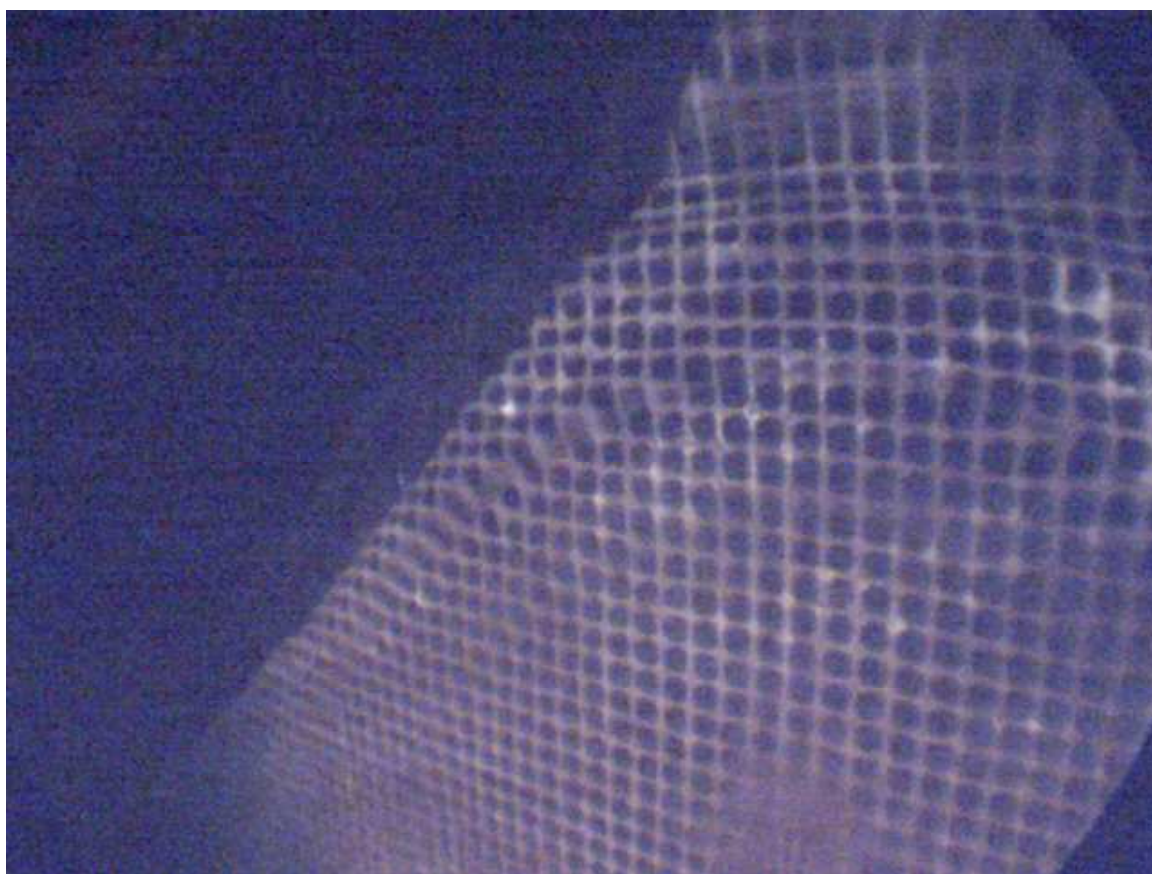
Obr. 20: Průběh teploty safírové koncovky mezi body 1 – 2 při chlazení pouze z vnější strany



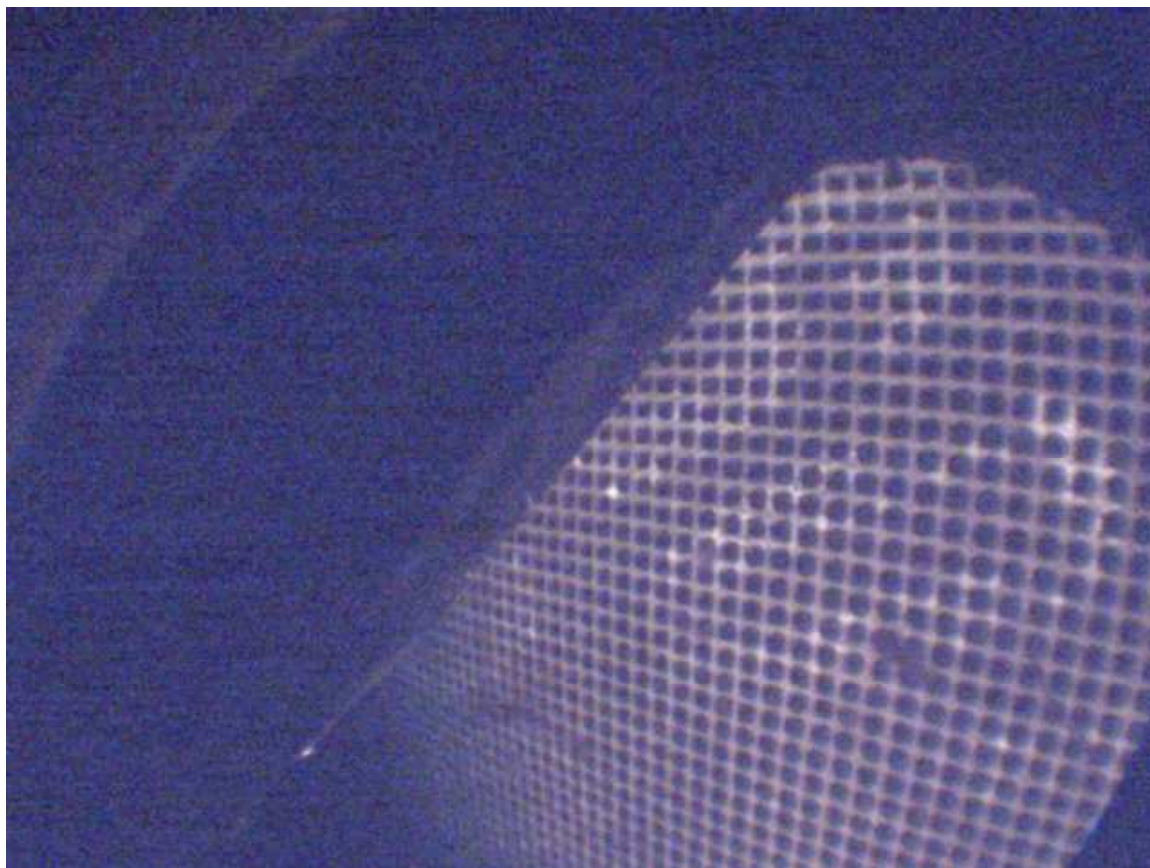
Obr. 21: Průběh teploty safírové koncovky mezi body 3 – 4 při chlazení pouze z vnější strany

8. Optické vlastnosti

Po provedení montáže držáku endoskopu k plášti katalyzátoru bylo možné zjistit optické vlastnosti nové safírové koncovky (obr. 22) a porovnat je s původní křemennou koncovkou dodávanou firmou AVL (obr. 23). Toto měření se provedlo za klidu motoru na studeném katalyzátoru pomocí endoskopu. Vzhledem k tomu, že průřez katalyzátoru má pravidelnou mřížkovou strukturu, nebylo nutné dělat další úpravy ke zjištění optických vlastností.



Obr. 22: Pohled na katalyzátor přes safírovou koncovku



Obr. 23: Pohled na katalyzátor přes koncovku z křemenného skla

Jak je vidět na obr. 22 při pozorování vnitřní části katalyzátoru přes safírové sklo, došlo k malému rozostření snímku na jeho okraji. Tato optická vada nebude mít velký vliv na pozorování šíření teploty uvnitř katalyzátoru a je způsobena horší zpracovatelností safírového skla, kdy se při povrchovém broušení nepodařilo vybrousit pravidelnou kulovou plochu. Aby byly optické vlastnosti srovnatelné vlastnostmi křemenného skla, musela by se použít jiná safírová koncovka například s rovným dnem, které umožní lepší vybroušení povrchu.

9. Ověřovací měření teploty

Pro ověření výsledků získaných teoretickým výpočtem se provedlo měření teploty safírové koncovky zabudované v katalyzátoru motoru Škoda 1.4 MPI (obr. 27). Toto měření se uskutečnilo v laboratoři katedry strojů průmyslové dopravy TU v Liberci.

Pro měření teploty uvnitř safírové koncovky bylo nutné vyrobit nový držák této koncovky, který umožnil měření teploty termočlánkem s kompenzačním vedením.

Teplota se měřila pomocí termočlánků s kompenzačním vedením typ “J” (obr. 26). Tyto termočlánky vyrábí firma JSP Nová Paka. S těmito termočlánky je možné měření teplot od -200°C do $+800^{\circ}\text{C}$. Průměr termočlánku je 3 mm a délka 200 mm. Kompenzační vedení má průměr 6 mm a délku 8000 mm.

Dále byl použit převodník teploty PT 041 (obr. 28) s rozsahem 0 – 50 mV a napětím $U_N=9 - 45\text{ V}$ (ss).

Měření se provádělo při $\frac{3}{4}$ zatížení motoru. Nejprve se měřila teplota bez chlazení, kdy byl termočlánek č.1 opřený o dno safírové koncovky a termočlánek č. 2 byl vložen přímo do katalyzátoru, kde se měřila teplota výfukových spalin. Postupně se zvyšoval tlak chladících vzduchu a to v rozsahu 0 – 300 kPa (tab. 5), při stálém konstantním zatížení motoru. Další měření se provedlo tak, že se termočlánek č. 1 umístil 6 mm od dna safírové koncovky, čím se částečně simulovala teplota v okolí endoskopu. Termočlánek č. 2 byl uvnitř katalyzátoru v blízkosti safírové koncovky a měřila se s ním teplota spalin působících na koncovku. Tento termočlánek byl umístěn v otvoru do kterého přijde namontovat osvětlení, které je nutné pro měření optických vlastností v katalyzátoru. Měření se také provádělo nejprve bez chlazení. Následně se zvyšoval tlak chladícího vzduchu od 0 – 300 kPa (tab. 5). Grafické průběhy teplot jsou na obr. 24 a 25.

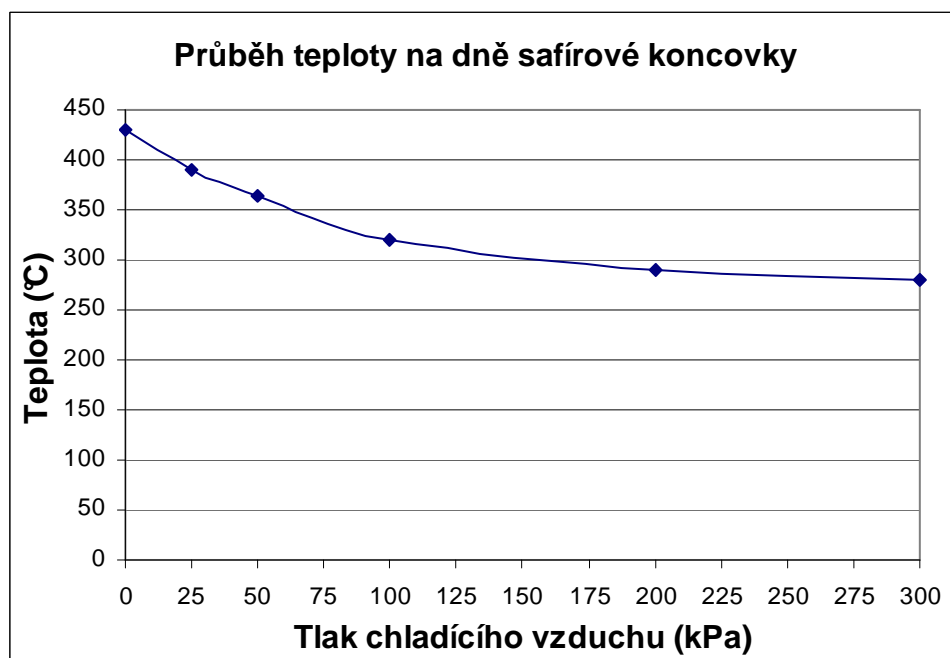
Mezi jednotlivými měřeními bylo nutné počkat než se ustálí teplota. Po ustálení teploty se měnil tlak chladícího vzduchu a měření se opakovalo.

Tab. 5: Naměřené hodnoty teplot na safírové koncovce

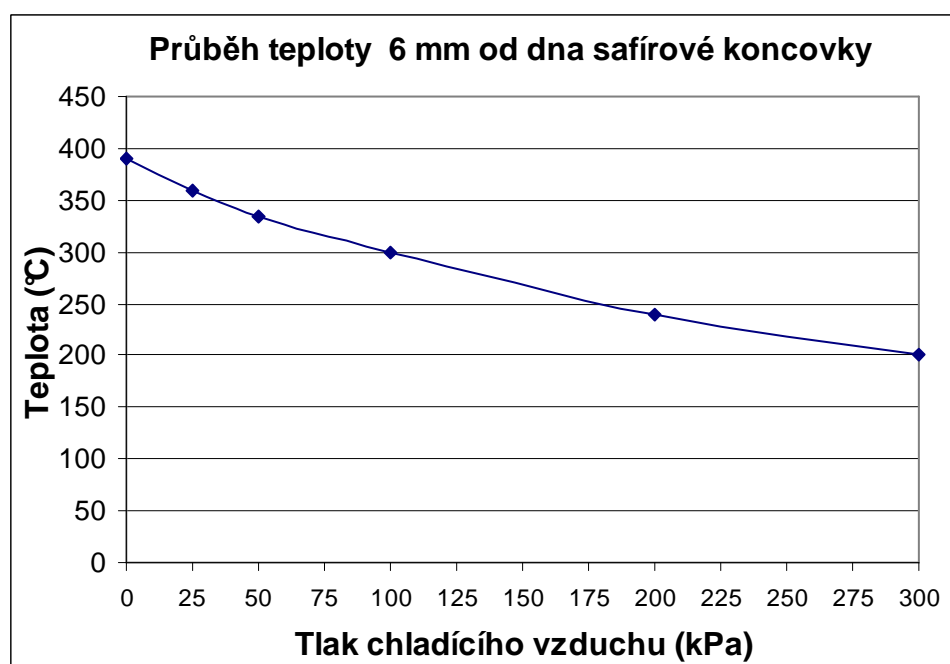
Otáčky motoru (n.min ⁻¹)	Moment (N.m)	T _{výfuk. plynu} (°C)	Tlak chladičího vzduchu (kPa)	T _{okolí endosk.} 6mm od dna safírové koncovky (°C)	T _{stěny skla} (°C)
3000	80	770	0	-	430
3000	80	770	25	-	390
3000	80	770	50	-	370
3000	80	770	100	-	320
3000	80	770	200	-	290
3000	80	770	300	-	280
3000	80	770	0	390	-
3000	80	770	25	360	-
3000	80	770	50	335	-
3000	80	770	100	300	-
3000	80	770	200	240	-
3000	80	770	300	200	-

Dále byla změřena termočlánkem teplota povrchu katalyzátoru, která byla při všech měřeních stejná 525°C.

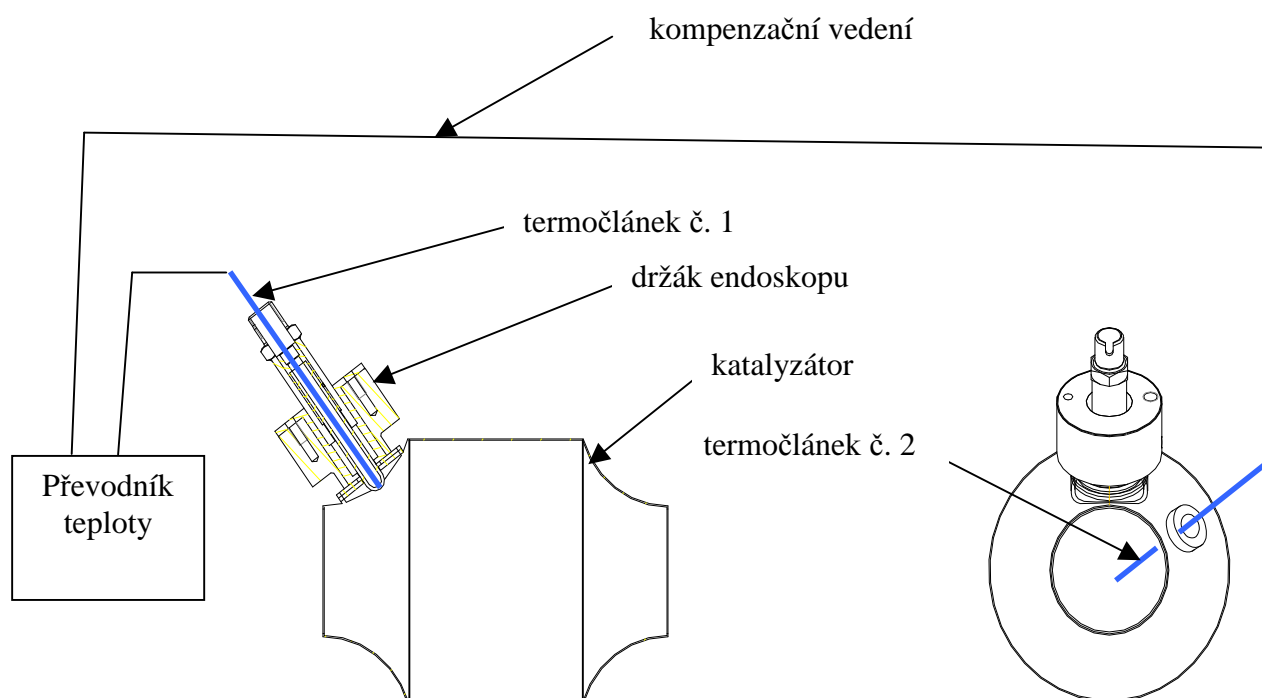
9.1 Grafické znázornění průběhu teplot



Obr. 24: Teploty na dně koncovky



Obr. 25: Teploty 6 mm od dna koncovky



Obr. 26: Schéma měření teplot safírové koncovky



Obr. 27: Měření teplot safírové koncovky umístěné v katalyzátoru motoru Škoda 1.4 MPI



Obr. 28: Převodník teploty PT 41

9.2 Ověřovací měření s mikrotermočláanky

Měření teplot na safírové koncovce se provádělo s termočláanky, které jsou používány pro měření teplot spalin v katalyzátoru motoru Škoda 1.4 MPI. Vzhledem k tomu, že tyto termočláanky mají ochranné zapouzdření, mají zvýšený tepelný odpor. Proto se provedlo ověřovací měření s mikrotermočláanky, které nemají toto ochranné zapouzdření a tím nedochází ke skreslení naměřených hodnot. Měření se provedlo s mikrotermočláankem typu "E", který má průměr pouzdra 0,75 mm a nechráněnou termoelektrickou sondu s průměrem vodičů 0,15 mm. Měření se provedlo v jednom režimu motoru při otáčkách 3000 ot/min a zatížení 80 N.m. Tlak chladicího vzduchu byl 300 kPa. Naměřená teplota byla 290 °C na dně safírové koncovky.

Teplota měřená zapouzdřenými termočláanky byla 280 °C.

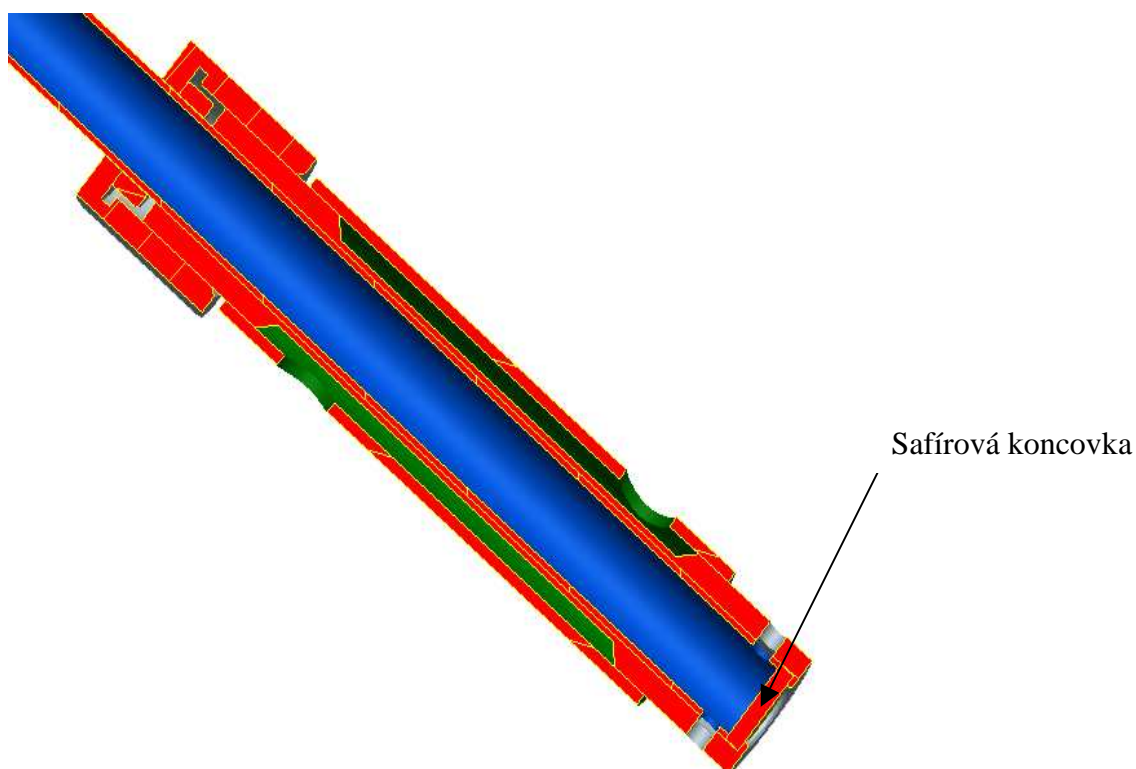


Provedení safírového pouzdra s polokulovým zakončením přivádí dovnitř tohoto pouzdra relativně velké množství tepla, které uvnitř zvyšuje teplotu až na 200 °C, což je pro měření endoskopem nepřijatelné. Jako možné řešení by bylo použití safírové koncovky s rovným dnem menšího průměru, které má přibližně o 60% menší teplosměnnou plochu.

10. Konstrukční návrh držáku safírové koncovky (varianta B)

Zkušební provedení držáku endoskopu se projevilo jako nevyhovující pro pozorování dějů probíhajících v katalyzátoru. Ze získaných výsledků změřených teplot je potřebné navrhnout takový držák, který umožní měření pomocí endoskopu a s tím související teplotu uvnitř safírové koncovky, která bude nižší než 120 °C. Jako možné řešení tohoto problému, je použití ochranné koncovky s plochým dnem. Koncovka bude vyrobena z ocele a ploché dno bude vyrobeno ze safíru (obr. 29).

Zkušební držák endoskopu pro ověření teplot (varianta A) je dost objemný a náročný na zástavbu do katalyzátoru, kde je přivařen a není možné je umístit na jiný katalyzátor. Proto při řešení nového držáku budu také vycházet z možné zástavby na katalyzátoru a možností umístit nový držák na jiný katalyzátor.

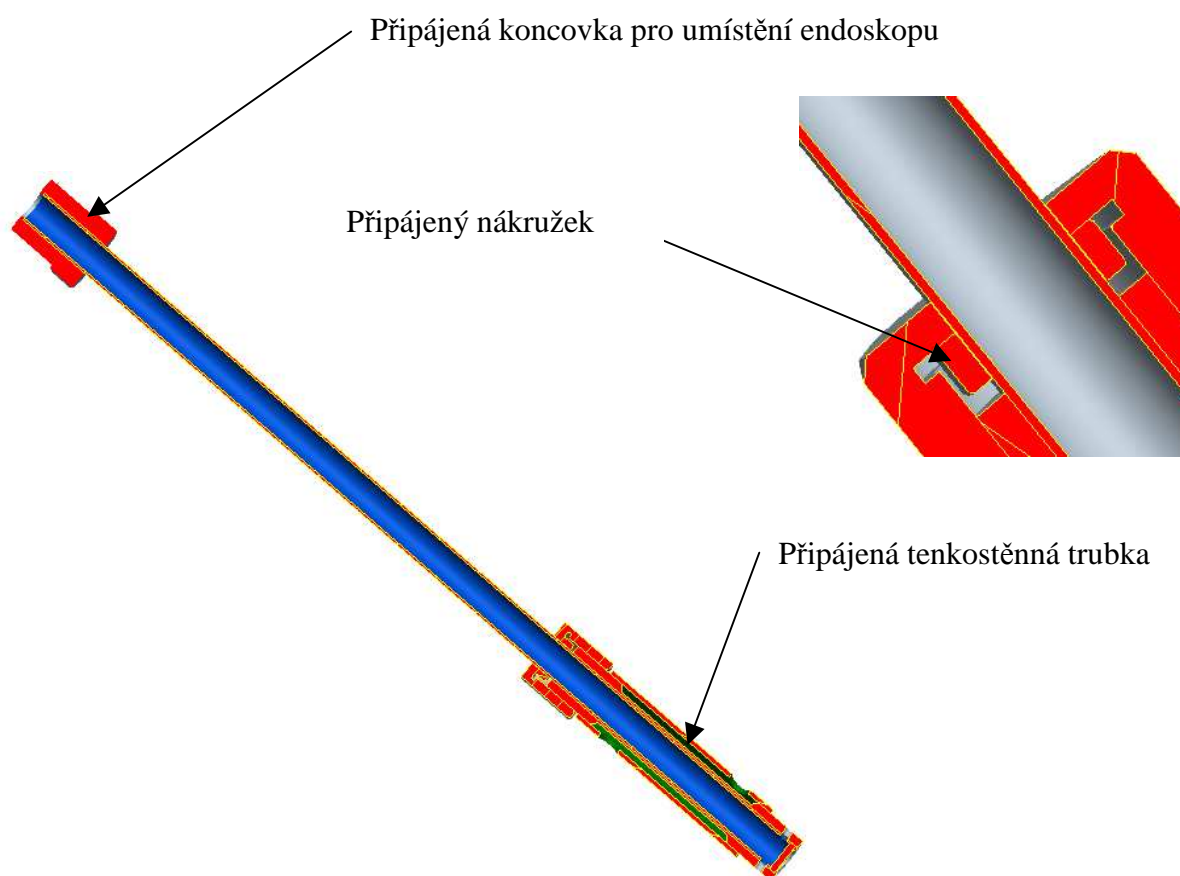


Obr. 29: Ocelový držák s plochým dnem vyrobeným ze safíru

Pro návrh nového držáku jsem vycházel z nově získaných údajů pro velikost a možnou zástavbu. Celý držák je vyroben z nerezové oceli třídy 17. Jako polotovar jsem použil tenkostěnné nerezové trubky dodávané firmou LEGA.

Aby se docílilo co nejmenší hmotnosti celého držáku, jsou některé části připájené obr. 30.

[7]

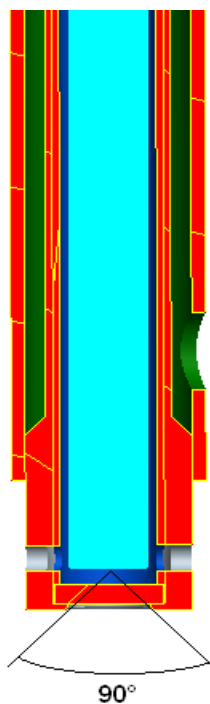


Obr. 30: Držák endoskopu (varianta B)

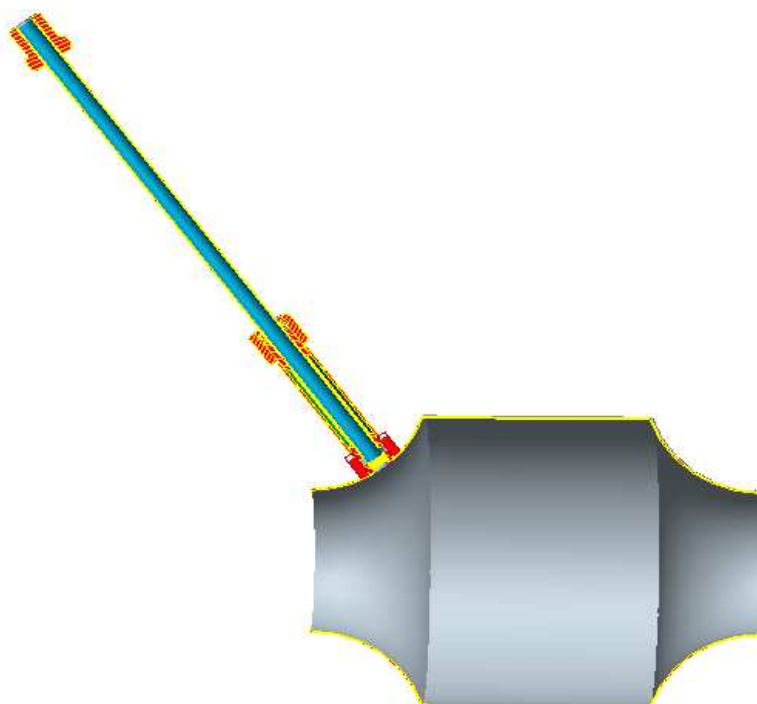
Celá sestava držáku endoskopu (varianta B) je umístěna do tělesa katalyzátoru, na kterém je navařena matice M12x1.5, do které se tento držák montuje (obr. 32).

Na všechny části držáku (varianta B) byla vypracována výkresová dokumentace, viz příloha.

Dále bylo nutné udělat takové úpravy, aby byl zorný úhel co možná největší. Řešením se docílilo zorného úhlu přibližně 90° (obr. 31) při umístění endoskopu 1 mm ode dna safírové koncovky.



Obr. 31: Znázornění zorného úhlu



Obr. 32: Zástavba držáku (varianta B) do tělesa katalyzátoru

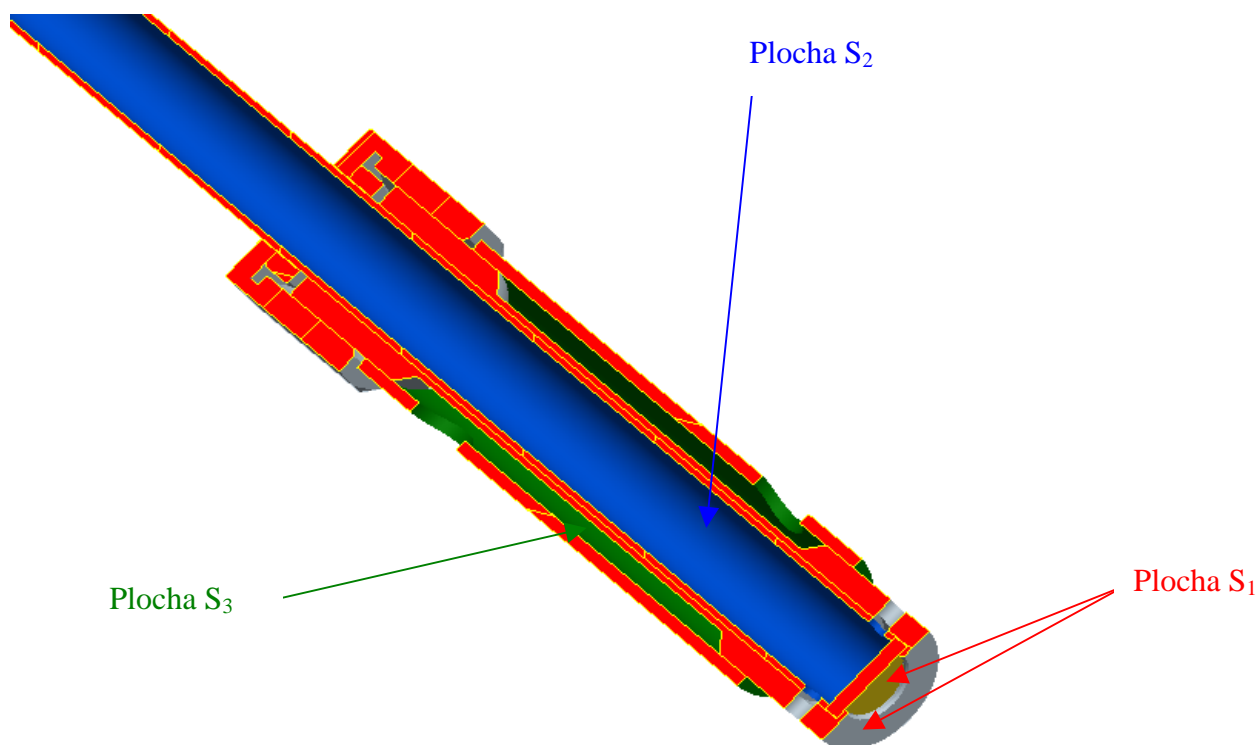
11. Tepelný výpočet

Nejprve se celý model znovu převedl na základní jednotky (m, kg, K), aby se předešlo možným problémům ve výpočtu.

11.1 Zadání okrajových podmínek

Okrajové podmínky jsem zvolil stejné jako při zadávání okrajových podmínek při tepelném výpočtu varianty A. S tím rozdílem, že jsem použil jako chladicí medium vodu, která odvede mnohem více tepla než vzduch.

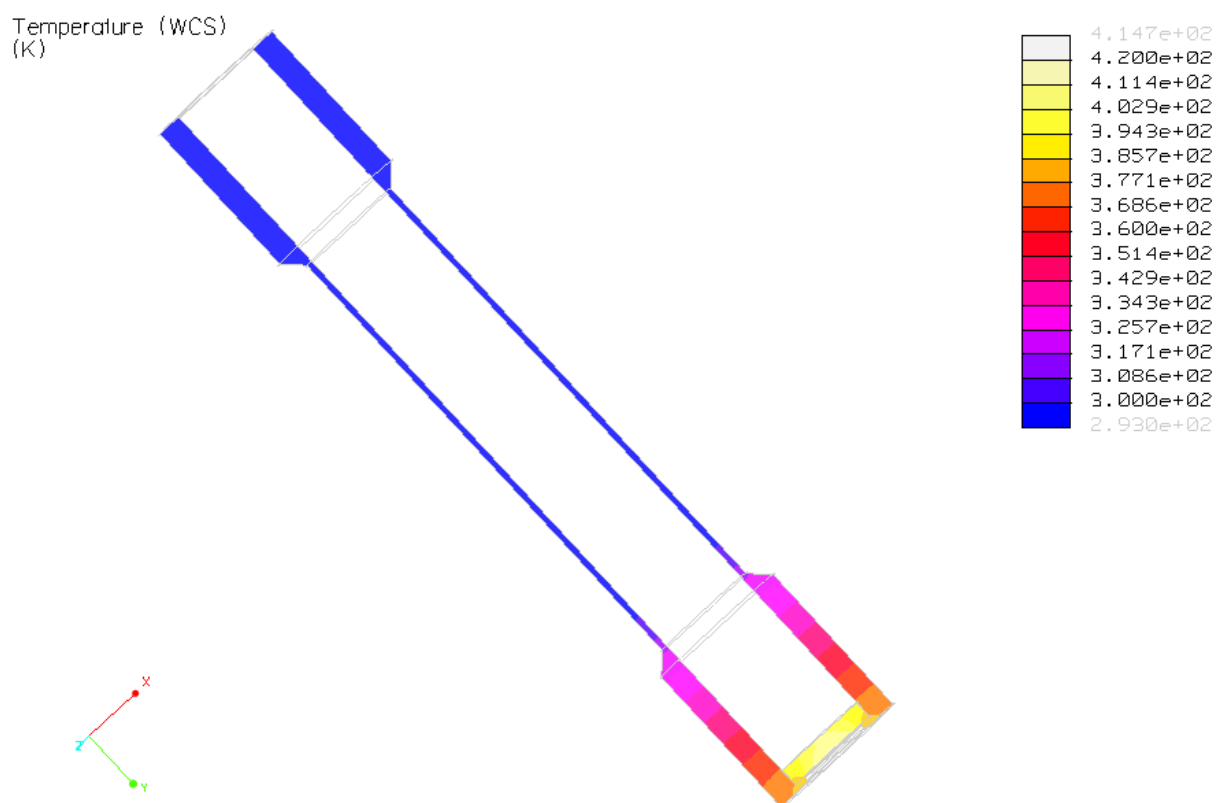
Na plochu S_1 jsem zvolil součinitel přestupu tepla $\alpha_{22}=142 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ a teplotu $T_1=800^\circ\text{C}$. Na plochu S_2 jsem zvolil součinitel přestupu tepla $\alpha_v=20 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ a teplotu chladicího vzduchu 20°C . Na plochu S_3 jsem zvolil součinitel přestupu tepla $\alpha_w=3000 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ a teplotu chladicí vody 20°C . Jednotlivé plochy jsou znázorněny na obr. 33.



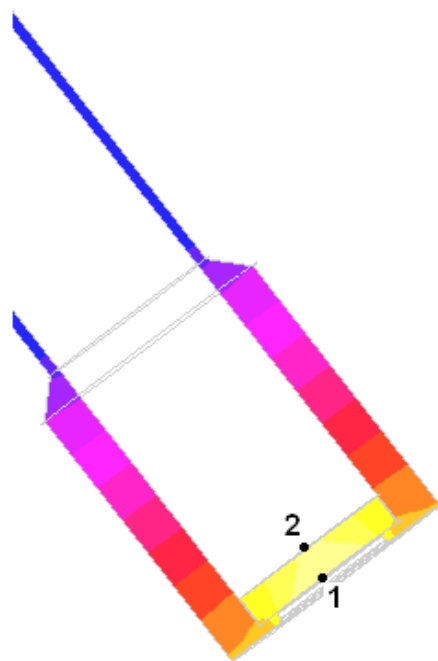
Obr. 33: Zadání okrajových podmínek

11.2 Zobrazení výsledků

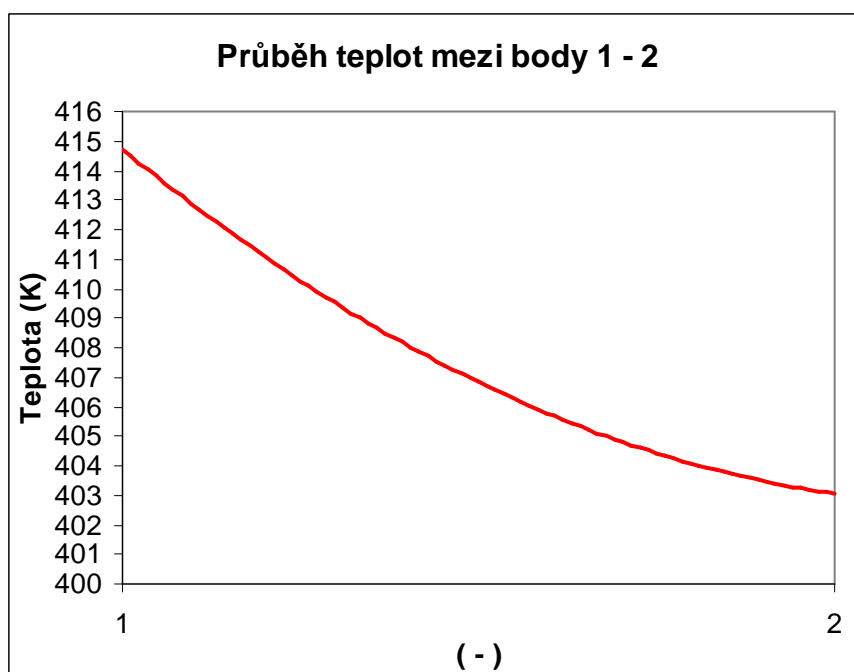
Po zadání okrajových podmínek uvedených v kapitole 11.1, proběhl výpočet s následujícím zobrazením teplot (obr. 34). Pro lepší zobrazení rozložení teplot na konci safírové koncovce jsem zvolil body (obr. 35), mezi kterými je znázorněn průběh teplot (obr. 36).



Obr. 34: Grafické znázornění průběhu teplot



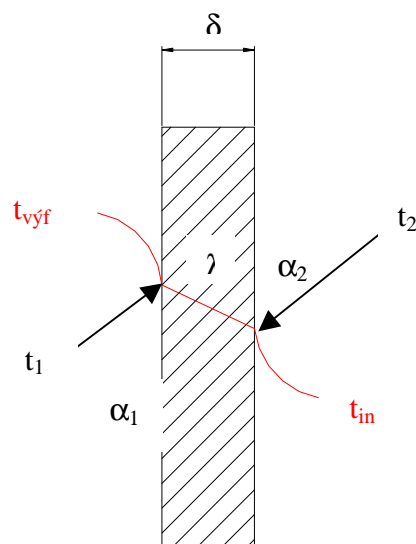
Obr. 35: Zvolené body pro průběh teploty



Obr. 36: Průběh teplot mezi zvolenými body 1 – 2

12. Teoretický výpočet tepla

V této kapitole je uveden zjednodušený teoretický výpočet přestupu tepla na safírové koncovce, který nám umožní porovnat výsledky teplotních polí získaných z programu ProMechanika a naměřených teplot. Pro tento výpočet je opět vytvořen zjednodušený model, který uvažuje přestup tepla ze spalín proudících v katalyzátoru a od sálání tělesa katalyzátoru. Tento výpočet je proveden pro rovné safírové dno (obr.37).



Obr. 37: Zjednodušený teoretický výpočet

Pro určení teplot bylo zapotřebí napsat jednotlivé rovnice přestupu tepla, ze kterých se následně dají dopočítat chybějící teploty. Pro zjednodušený výpočet se použily naměřené teploty při experimentu na motoru Škoda 1.4 MPI (tab. 5). Teoretickým výpočtem se určily teploty t_1 a t_2 . Tepelný tok jednotkovou plochou safírového okénka určují rovnice:

$$\dot{q} = \alpha_1 \cdot (t_{\text{výf}} - t_1) \quad (3)$$

$$\dot{q} = \frac{\lambda}{\delta} \cdot (t_1 - t_2) \quad (4)$$

$$\dot{q} = \alpha_2 \cdot (t_2 - t_{\text{in}}) \quad (5)$$

Pro výpočet byly zvoleny následující vstupní parametry:

$$\alpha_1 = 142 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$t_{\text{výf}} = 800^\circ\text{C}$$

$$\alpha_2 = 50 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$t_{\text{in}} = 200^\circ\text{C}$$

$$\lambda = 7 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$\delta = 2 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Určení teplot t_1 , t_2 a tepelného toku \dot{q} pomocí programu Mathcad

Given

$$q = \alpha_1 \cdot (t_{\text{výf}} - t_1)$$

$$q = \frac{\lambda}{\delta} \cdot (t_1 - t_2)$$

$$q = \alpha_2 \cdot (t_2 - t_{\text{in}})$$

$$\text{Find}(t_1, t_2, q) \rightarrow \begin{pmatrix} 475 \\ 467 \\ 29416 \end{pmatrix}$$

$$t_1 = 475^\circ\text{C}$$

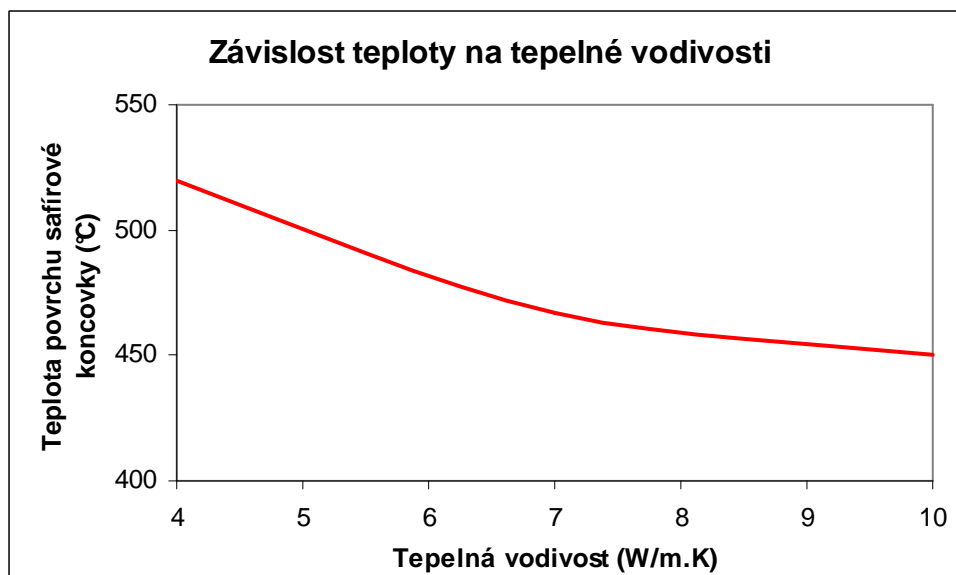
$$t_2 = 467^\circ\text{C}$$

$$\dot{q} = 29416 \text{ W/m}^2$$

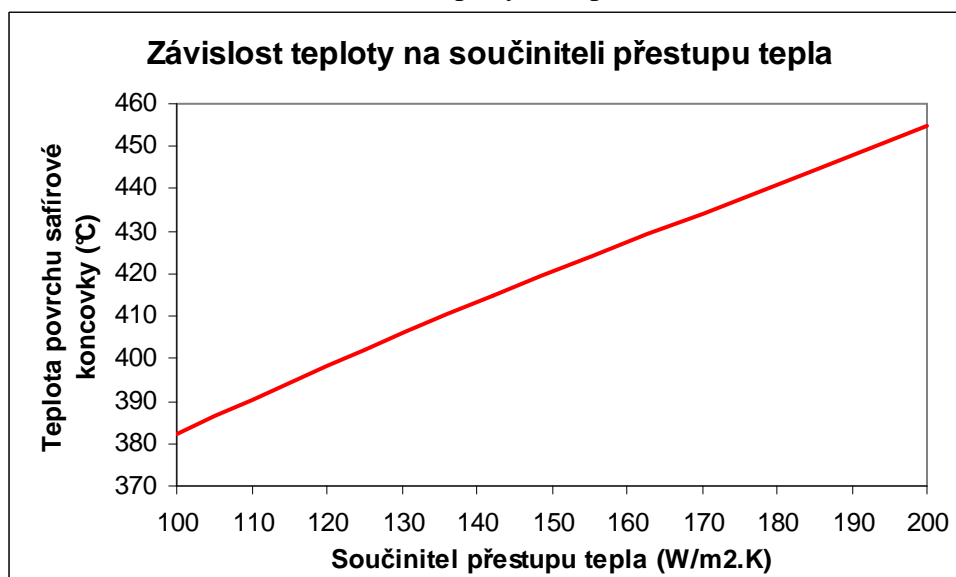
Výsledky získané teoretickým výpočtem se liší od hodnot, které byly zjištěny programem ProMechanica i experimentálním měřením cca o 50°C . To může být způsobeno zvolenými parametry tepelné vodivosti i zvolenými součiniteli přestupu tepla. Výpočet průběhu teplot při různých hodnotách těchto parametrů je uveden v grafickém znázornění na obr. 38 a 39.

Na obr. 38 je znázorněna závislost teploty na různé velikosti tepelné vodivosti při zvoleném součiniteli přestupu tepla $142 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$, obr. 39 potom ukazuje

závislost teploty pro různé hodnoty součinitele přestupu tepla při zvolené tepelné vodivosti $7 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$.



Obr. 38: Závislost teploty na tepelné vodivosti



Obr. 39: Závislost teploty na součiniteli přestupu tepla

Z grafu (obr. 38, 39) je patrné, že změna parametru tepelné vodivosti a součinitele přestupu tepla nemají výrazný vliv na teplotu povrchu sařirové koncovky. Z těchto dvou parametrů asi nejvíce ovlivňuje teplotu změna součinitele přestupu tepla. Při změně součinitele přestupu tepla o $100 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ byl rozdíl teplot cca 70°C .

13. Závěr

Tématem této diplomové práce bylo najít takové řešení, které umožní provedení vizualizace vnitřních částí výfukového systému motoru. Požadavek byl, aby teplota v blízkosti endoskopu nebyla vyšší než 120°C při vnější teplotě spalin 800°C.

Hlavním cílem práce bylo navrhnutí držáku endoskopu s použitím safírové koncovky. Byly zvoleny dvě varianty řešení, kdy jedna varianta byla navrhována pro přídavné chlazení vzduchem a druhá varianta byla navrhována pro chlazení vodou. Tyto jednotlivé varianty byly namodelovány v programu ProEngineer, ve kterém byla také provedena výkresová dokumentace.

Pro určení tepelného zatížení jednotlivých variant byly sestaveny zjednodušené modely, aby se předešlo zdlouhavému výpočtu. Tyto modely byly následně převedeny do programu ProMechanica, ve které byly zadány okrajové podmínky, které byly dány materiálovými vlastnostmi a požadovanými podmínkami pro provedení vizualizace. Výstupními daty z tohoto programu byla barevná spektra rozložených teplot, včetně grafického zobrazení průběhu teplot mezi zvolenými body.

Další postup řešení této práce bylo experimentální ověření teplot na držáku endoskopu při chlazení vnějším vzduchem. Toto měření se provádělo v laboratořích katedry KSD v areálu TU v Liberci. Měření se provádělo termočlánky s kompenzačním měřením při plném zatížení motoru. Teploty se měřily nejprve bez chlazení a následně se zvyšoval tlak chladicího vzduchu. Při porovnání teplot získaných výpočtem v programu ProMechanica a změřených teplot při experimentu byly rozdíly v teplotách do 20°C.

Ze získaných výsledků se jako nejvhodnější varianta pro provedení vizualizace vnitřních částí výfukového systému motoru jeví použití druhé varianty - chlazené vodou a kde teploty na povrchu safírové koncovky jsou cca. 100°C. Další důvod proč použít druhou variantu je menší hmotnost i rozměry držáku a možnost použití na méně přístupných místech katalyzátoru.

Jelikož se safírové koncovky vyrábí metodou růstu monokrystalu a následně se povrchově upravují, bylo nutné provést zkoušku optických vlastností a zjistit tak rozdíly mezi optickými vlastnostmi koncovky vyrobené z křemenného skla a ze



safíru. Toto měření se provedlo na držáku, který byl chlazen vzduchem a ve kterém byla umístěna safírová koncovka tvaru „zkumavky“. Bylo zjištěno mírné rozostření v krajní části pohledu. To je způsobeno vysokou tvrdostí safíru a obtížném opracování špatně přístupných partií. To se také stalo i při výrobě safírové koncovky pro ochranné pouzdro endoskopu ve vnitřním polokulovém prostoru safírové koncovky, kdy se zcela nepodařilo dosáhnout opticky kvalitní polokulové plochy. Tato vada by však neměla mít velký vliv na pozorování dějů uvnitř katalyzátoru. Možné řešení jak odstranit tuto vadu je použití koncovky s rovných dnem, která umožní lepší vybroušení povrchu. Tato varianta byla také použita do držáku chlazeného vodou.

15. Seznam obrázků

Obr. 1: Chlazený endoskop M10.....	15
Obr. 2: Chlazený endoskop M14.....	16
Obr. 3: Endoskop M14 s optickými vlákny	16
Obr. 4: Koncovka vyrobená ze safíru	17
Obr. 6: Závislost tepelné vodivosti na teplotě pro křemenné sklo	20
Obr. 7: Původní držák firmy AVL.....	22
Obr. 8: Část 1.....	22
Obr. 9: Část 2.....	22
Obr. 11: Sestava původního držáku AVL a části 1 včetně safírového koncovky.....	23
Obr. 12: Zástavba držáku do katalyzátoru motoru škoda 1.4 MPI	24
Obr. 13: Zadání vnitřních okrajových podmínek.....	27
Obr. 14: Zadání vnějších okrajových podmínek	27
Obr. 15: Teplotní pole na safírové koncovce při chlazení z obou stran.....	28
Obr. 16: Zobrazení vybraných bodů.....	29
Obr. 17: Průběh teplot na konci safírové koncovky mezi body 1 – 2.....	29
Obr. 18: Průběh teplot na konci safírové koncovky mezi body 3 – 4.....	30
Obr. 19: Teplotní pole na safírové koncovce při chlazení pouze z vnější strany.....	30
Obr. 20: Průběh teploty safírové koncovky mezi body 1 – 2 při chlazení pouze z vnější strany	31
Obr. 21: Průběh teploty safírové koncovky mezi body 3 – 4 při chlazení pouze z vnější strany	31
Obr. 22: Pohled na katalyzátor přes safírovou koncovku	32
Obr. 23: Pohled na katalyzátor přes koncovku z křemenného skla.....	33
Obr. 24: Teploty na dně koncovky	36
Obr. 25: Teploty 6 mm od dna koncovky.....	36
Obr. 26: Schéma měření teplot safírové koncovky	37
Obr. 27: Měření teplot safírové koncovky umístěné v katalyzátoru motoru Škoda 1.4 MPI.....	37
Obr. 28: Převodník teploty PT 41	38



Obr. 29: Ocelový držák s plochým dnem vyrobeným ze safíru	40
Obr. 30: Držák endoskopu (varianta B).....	41
Obr. 31: Znázornění zorného úhlu	42
Obr. 32: Zástavba držáku (varianta B) do tělesa katalyzátoru	42
Obr. 33: Zadání okrajových podmínek	43
Obr. 34: Grafické znázornění průběhu teplot	44
Obr. 35: Zvolené body pro průběh teploty	45
Obr. 36: Průběh teplot mezi zvolenými body 1 – 2.....	45
Obr. 37: Zjednodušený teoretický výpočet.....	46
Obr. 38: Závislost teploty na tepelné vodivosti.....	48
Obr. 39: Závislost teploty na součiniteli přestupu tepla	48



16. Použitá literatura

- [1] Operating Manual AVL VisioScope, 2000 AVL list GmbH
- [2] Fanderlik, I.: Vlastnosti skel, Praha, Informatorium s.r.o., 1996
- [3] Dvořák, Z.: Sdílení tepla a výměníky, ČVUT Praha, 1994
- [4] Urbášek, J.: Termomechanika, TU v Liberci, 2001

17. Internetové zdroje

- [5] <http://www.crytur.cz>
- [6] <http://www.emitec.com>
- [7] <http://www.lega.cz>



18. Seznam výkresů

Název výkresu	Číslo výkresu
VARIANTA A	DP-KSD-2005-S1
Drzak M14	DP-KSD-2005-1
Část 1	DP-KSD-2005-2
Část 2	DP-KSD-2005-3
Pouzdro M14	DP-KSD-2005-4
Safir. koncovka	DP-KSD-2005-5
VARIANTA B	DP-KSD-2005-S2
Trubka	DP-KSD-2005-6
Sroubení	DP-KSD-2005-7
Prevlečna matice	DP-KSD-2005-8
Trubka	DP-KSD-2005-9
Drzak	DP-KSD-2005-10
Safir. koncovka	DP-KSD-2005-11
Nakruzek	DP-KSD-2005-12
Matice	DP-KSD-2005-13